

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки – 15.04.01 Машиностроение
Отделение школы (НОЦ) – Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование композиционных порошков «силицид титана – титан» и покрытий, полученных с их применением

УДК 621.762.8:661.8:621.791.927

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Данковцев Григорий Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коростелева Е.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Т.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Коростелева Е.Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

15.04.01 «Машиностроение»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нано технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования, на защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности

P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки – 15.04.01 Машиностроение
Отделение школы (НОЦ) – Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Е.Н. Коростелева

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Данковцеву Григорию Олеговичу

Тема работы:

Исследование композиционных порошков «силицид титана – титан» и покрытий, полученных с их применением	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
------------------------------------------	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования являются СВС – композиционные порошки Ti_5Si_3 – связка Ti и покрытия на их основе.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Изучение литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки в области получения и применения композиционных порошков; актуальность работы и постановка задачи; методы получения и исследования объекта исследования; анализ результатов выполненной работы; заключение.
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Е.В.
Социальная ответственность	Раденков Т.А.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Демьяненко Н.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основная часть, Литературный обзор, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», Социальная ответственность – русский язык	
На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коростелева Е.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Данковцев Г.О.		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 97 с., 21 рисунок, 17 таблиц, 42 источника, 1 прил.

Ключевые слова: композиционный порошок, силициды титана, электроннолучевые покрытия, порошковая наплавка, спекание, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

Объектом исследования являлись композиционные порошки системы «титан – кремний», а также электронно-лучевые наплавки на их основе.

Целью настоящей работы было исследование порошковых композитов «титан – кремний», полученных методом СВС, и электроннолучевых наплавов из них для последующего применения в промышленности.

В результате исследований описаны структурные особенности и некоторые физико-механические свойства композиционных порошков «титан - кремний» а также наплавов на их основе.

Степень внедрения: внедрение в производство не осуществлено.

Область применения: порошковая металлургия.

Экономическая эффективность/значимость работы – проект обладает высокой ресурсоэффективностью и является ресурсосберегающим.

Оглавление

Реферат.....	7
Введение.....	10
1. Литературный обзор.....	12
1.1. Система «титан – кремний».....	12
1.2. СВС (самораспространяющийся высокотемпературный синтез).....	16
1.3. Спекание.....	19
1.4. Электронно-лучевая наплавка.....	21
2. Материалы и методы.....	26
2.1. Описание используемых экспериментальных методик и материалов.....	26
3. Результаты исследований.....	30
3.1. Результаты исследования синтезированных порошков Ti_5Si_3-Ti	30
3.2. Исследование спекания синтезированных порошков Ti_5Si_3-Ti	34
3.3. Результаты исследования наплавленных покрытий Ti_5Si_3-Ti	37
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	40
4.1. Введение.....	41
4.2. Потенциальные потребители результатов исследования.....	41
4.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	43
4.4. SWOT - анализ.....	45
4.5. Инициация проекта.....	48
4.5.1. Цели и результаты проекта.....	48
4.5.2. Организационная структура проекта.....	50
4.5.3. Ограничения и допущения проекта.....	51
4.5.4. Сырье, материалы, комплектующие изделия.....	52
4.5.5. Затраты на специализированное оборудование.....	53
4.5.6. План проекта.....	54

4.5.7. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	55
5. Социальная ответственность.....	58
5.1. Введение.....	60
5.2. Техногенная безопасность.....	60
5.2.1. Анализ вредных факторов производственной среды.....	60
5.2.1.1. Шум.....	61
5.2.1.2. Вредные вещества.....	62
5.2.1.3. Микроклимат.....	63
5.2.1.4. Освещение на рабочем месте.....	64
5.2.1.5. Расчет общего равномерного освещения.....	66
5.2.2. Анализ опасных факторов производственной среды.....	69
5.2.2.1. Электрический ток.....	69
5.2.2.2. Пожаробезопасность.....	71
5.2.3. Региональная безопасность.....	72
5.2.4. Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	73
5.2.5. Особенности законодательного регулирования проектных решения.....	74
5.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	75
Основные результаты и выводы по исследовательской работе.....	77
Список используемой литературы.....	78
Список публикаций.....	82
Приложение А (раздел на иностранном языке).....	83

Введение

Технология получения металлических порошков использовалась людьми еще в древние времена. Во времена бронзового века люди научились получать и использовать для получения изделий порошки золота и меди, а также применять горячую ковку порошковой массы. Этот опыт был использован около 5 тыс. лет назад для изготовления орудий труда и вооружения. В 20-м веке растущие потребности в таких изделиях, как тугоплавкие нити накаливания, меднографитовые токосъемные щетки и т.д., возродили интерес к порошковой металлургии, позволяющей получать материалы и изделия, которые невозможно получить по технологиям традиционной металлургии, основанной на литье. Продукция современной порошковой металлургии включает материалы со специфическими свойствами и с широкой областью применения (дисперсно- упрочненные, фрикционные, антифрикционные, износостойкие, высокопористые и др.). Большинство из вышеперечисленных материалов имеет сложный фазовый состав и структуру и относится к классу композиционных материалов.

Композиционные материалы получили широкое применение в различных областях промышленности благодаря возможности управления физическими и химическими свойствами на всех этапах производства изделий. Металломатричные композиты и покрытия на их основе, состоящие из твердых соединений (TiC , TiB , WC или Ti_5Si_3) скрепленных относительно мягкой и вязкой металлической связкой (Ti , Fe , Co , Ni), обладают высокими параметрами твердости, износостойкости и коррозионностойкости, необходимыми для работы в условиях агрессивных сред и интенсивных абразивных нагрузок, которые могут наблюдаться при высокоскоростной металлообработке, при эксплуатации деталей машин аграрной, горной и нефтегазовой отраслей [1-3].

На сегодняшний день композиционные порошковые материалы всё чаще используются в промышленности, приходя на замену дорогим сплавам,

поскольку, при значительно более низкой цене, материалы на основе композиционных порошков обладают уникальным сочетанием твердости, прочности, пластичности и износостойкости при абразивном износе и в контактных парах.

Одно из применений порошковых материалов, актуальное на сегодняшний день - аддитивные технологии. Основу существующих на сегодняшний день порошков для аддитивных технологий составляют порошки чистых металлов и простых сплавов, а порошков, позволяющих «печатать» композиционные изделия катастрофически мало [4].

Целью настоящей работы было получить и исследовать композиционные порошки системы « $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ » с различным содержанием титановой связки, а также покрытий полученных электронно-лучевой наплавкой на их основе. Объемные материалы этой системы характеризуются более высокими значениями механических и теплофизических свойств по сравнению с чистым титаном, обладают стойкостью к окислению при высоких температурах, благодаря чему применяются в качестве защитных покрытий нагревательных элементов и теплоотводов.

В работе были поставлены следующие задачи:

- Отработка технологии получения композиционных порошков $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ методом СВС (самораспространяющийся высокотемпературный синтез);
- Исследование характеристик синтезированных порошков $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ (морфология и средний размер силицидных включений, микроструктура и фазовый состав, внутри частичная пористость и т.п.);
- Анализ спекаемости синтезированных порошков $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ с максимальным содержанием титановой связки (степень уплотнения, изменение микроструктуры и остаточной пористости после спекания);
- Получение покрытий из полученных порошков $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ с помощью электронно-лучевой наплавки и исследование их свойств (структура, износ, микротвердость и т.п.).

1. Литературный обзор

1.1. Система «титан – кремний»

Тема, связанная с композиционными порошками системы «титан – кремний» не достаточно широко исследована в наше время. В системе существует пять соединений: Ti_3Si , Ti_5Si_3 , Ti_3Si_4 , $TiSi$ и $TiSi_2$. Соединение Ti_5Si_3 , которое нас интересует, имеет наивысшую температуру плавления среди остальных соединений, равную - 2130 °С. Также оно находится в заметной области гомогенности, составляющей при температуре 1300 °С 4 % (ат.) в концентрационном интервале от 35,5 до 39,5 % (ат.) Si (рисунок 1).

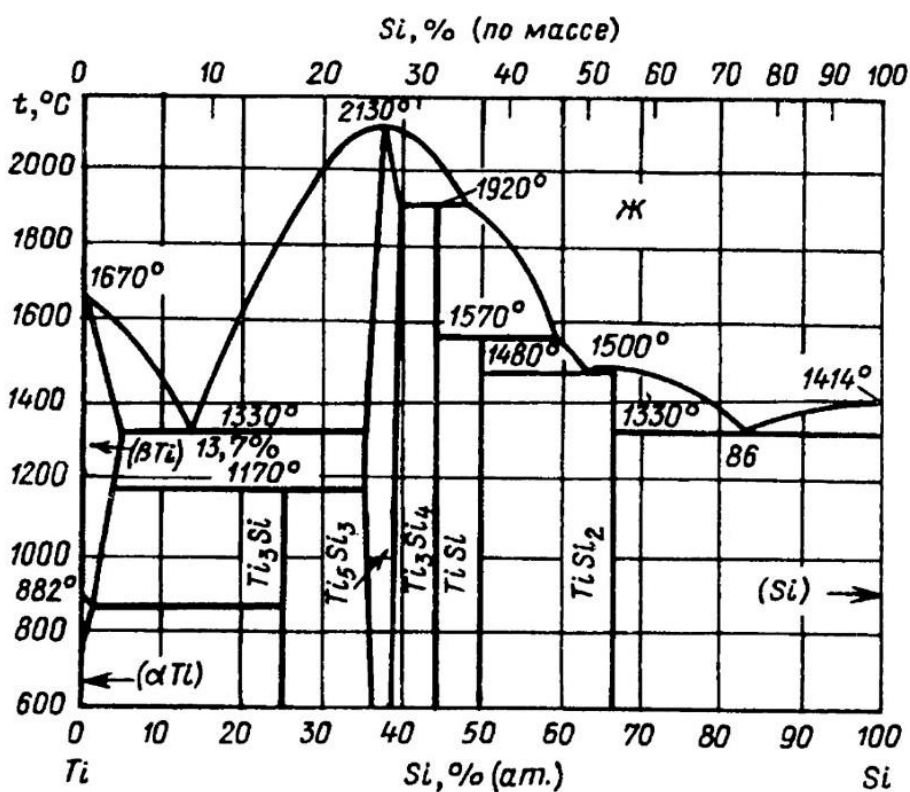


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы «титан – кремний [5]»

В начале 2000-х годов развитие и внедрение в производство новейших методов упрочнения инструментов и деталей машин, нанесение покрытий, обеспечивающих комплексную защиту их поверхности от воздействия рабочих сред, не теряют актуальность и в настоящее время. К таким видам технологий относится термореакционное электроискровое упрочнение (ТРЭУ), которое сочетает в себе процессы электроискрового легирования

(ЭИЛ) и высокотемпературного химического синтеза в межэлектродном пространстве [6-7].

Перспективным материалом для создания высокотемпературных покрытий является металлокерамика на основе силицида титана, совмещающая особые свойства керамики (высокие показатели твердости, сопротивления износу и коррозии) с преимуществами металлов (хорошие теплопроводность, вязкость, адгезионная активность).

Один из вариантов получения силицидной металлокерамики – использование экзотермического взаимодействия титана с кремнием. В зависимости от количественного соотношения компонентов шихты возможно образование различных силицидных фаз, из которых наибольший интерес вызывает силицид титана Ti_5Si_3 , имеющий высокую температуру плавления и низкую плотность, а также повышенные показатели стойкости к окислению, тепло- и электропроводностей, термодинамической устойчивости [8–10]. Исследования на жаростойкость при $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ показали, что за 80 ч эксперимента значения удельной скорости окисления образцов с покрытиями из шихты составов Ti–Si в 1,5 раза меньше, чем у незащищенного титанового сплава [11].

В настоящее время для улучшения эксплуатационных характеристик поверхности активно применяются всё те же материалы на основе силицидов титана. Для нанесения подобных покрытий используются такие методы, как дуговая наплавка, электроискровое легирование и другие методы. Это приводит к повышению коррозионной стойкости поверхностей различных деталей.

В итоге, на поверхности детали или изделия образуется свежий слой, которому придаются совершенно новые свойства в зависимости от параметров искрового разряда, состава электродного материала, материала обрабатываемой детали или изделия и других факторов.

Подобные покрытия могут быть использованы, на режущих инструментах и других трущихся поверхностях, в паре со слоем карбида

титана, который сообщает твердость поверхности, а слой силицида титана обладает очень высокой коррозионной стойкостью. Поэтому подобное сочетание слоёв, вероятно, может позволить трущимся поверхностям работать в достаточно тяжелых условиях повышенных температур [12].

Силициды переходных тугоплавких металлов являются типичными представителями класса неорганических соединений, называемых металлоподобными. Эти соединения характеризуются большим разнообразием свойств и исключительно широкой областью применения в технике [13]. В химическом отношении они отличаются высокой устойчивостью к окислению кислородом воздуха, а также к воздействию различных кислот и их смесей. Анализ результатов исследования химической стойкости силицидов титана, циркония, хрома, силицидов триады железа в различных кислотах и их смесях, в растворах комплексообразователей и других агрессивных средах [14] показал, что практически со всеми неорганическими кислотами (HCl , H_2SO_4 , HNO_3), а также с царской водкой эти силициды взаимодействуют слабо.

В работе [15] были изучены влияния химической стойкости некоторых СВС-металлоподобных силицидов (TiSi_2 , Ti_5Si_3), в ряде кислых агрессивных растворов и выявление возможности использования этих веществ в качестве кислотостойких наполнителей при разработке коррозионностойких материалов на основе синтетических термореактивных смол.

При использовании высокотемпературного синтеза для получения синтезированных порошков возможно получить побочные продукты, так называемые Мах-фазы.

В последнее время, а точнее в последние пару лет, это направление начинает широко развиваться и становится популярно в наше время. Мах-фазы - это тройные соединения, которые отвечают общей формуле $\text{M}_{n+1}\text{AX}_n$, где М - переходный металл; А-элемент IIIA или IVA группы периодической системы элементов, Х - углерод или азот (или оба). Отличительная особенность этих материалов заключается в строении гексагональных

кристаллических решёток, в которых слои атомов элементов М и А чередуются в определённой последовательности, а атомы углерода (или азота) располагаются в октаэдрических порах между атомами элемента М. Особенности строения их кристаллических решёток обуславливают уникальное сочетание в таких материалах свойств металла и керамики [16]. Для получения материалов на основе МАХ - фаз используют различные методы [17-22].

МАХ-фаза Ti_3SiC_2 впервые была получена В. Ещенко и Х. Новотным еще в 1967 г. в Венском университете. В 1972 г. группой ученых из Германии были получены пленки этой фазы CVD-методом из газовой фазы, содержащей хлориды титана, кремния и углерода, и впервые показано, что МАХ-фаза Ti_3SiC_2 является аномально пластичным для обычных карбидов веществом.

Износостойкие покрытия на основе мах-фаз нанесенные на титановые сплавы представляют большой практический интерес, так как титан и его сплавы обладают низкой износостойкостью из-за склонности к схватыванию в контактных парах практически со всеми металлическими материалами. Для получения «толстых» износостойких покрытий на титан и его сплавы широко используется порошковая наплавка, причем состав порошковой присадки подбирают таким образом, чтобы получить композиционное покрытие, имеющее структуру матричного композита с дисперсными включениями частиц тугоплавких соединений (карбидов, боридов, силицидов) в титановой матрице [23]. Наиболее изучен в качестве твердой и тугоплавкой упрочняющей фазы в металломатричных композитах на основе титана: карбид титана. Для получения таких наплавленных композиционных покрытий «TiC-Ti» обычно используются механические смеси порошков титана, карбида титана и графита в различных сочетаниях [24-25].

В тоже время, аналогичные электронно-лучевые металломатричные покрытия, содержащие силициды, практически не исследованы, что делает задачу изучения СВС порошков на основе составов « $Ti_5Si_3 + Ti$ » весьма актуальной.

1.2. СВС (самораспространяющийся высокотемпературный синтез)

Композиционные порошки системы « $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ » были получены с помощью метода СВС - это экзотермический химический процесс горения, который протекает в автоволновом режиме в смесях порошков и приводит к образованию полезных конденсированных продуктов, материалов или изделий. Целевым продуктом СВС являются твердые химические соединения (карбиды, бориды, нитриды, силициды и т.п.) и материалы на их основе.

В основе СВС лежит научное явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций, открытое в 1967 году Российскими учеными А.Г. Мержановым, И.П. Боровинской и В.М. Шкиро.

Образцы для проведения СВС-синтеза предварительно готовят методом прессования. Сам процесс инициируется с помощью разогрева локального объема, например, молибденовой спиралью на верхнем торце заготовки, после чего начинается экзотермическая реакция послойного горения образца (рисунок 2). Выделяющаяся при этом энергия идет на разогрев инертных в тепловом отношении добавок [26].

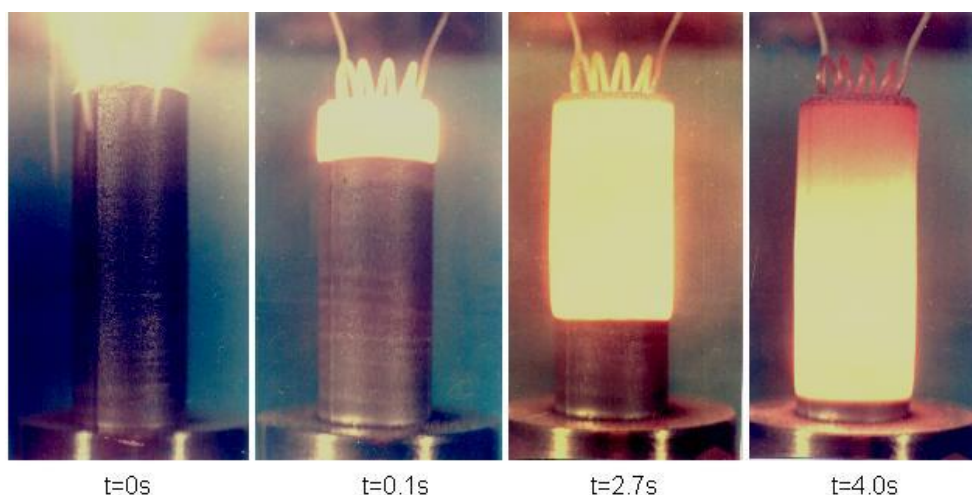


Рисунок 2 - Пример образца и локальной инициации СВС

На СВС оказывает влияние множество факторов, контролируемых перед началом реакции. Такими факторами являются:

- тепловой эффект реакции;

- состав и структура экзотермической смеси порошков;
- размер, плотность и начальная температура шихтовых образцов;
- состав и давление окружающего газа и др.

Основные преимущества технологии СВС перед другими технологиями заключаются в следующем: процесс является энергосберегающим, так как протекает за счет тепла, выделяемого в результате химической экзотермической реакции и не требует дополнительного нагрева после инициации; характеризуется высокой производительностью, определяемой скоростью горения (порядка 10...30 мм/с); высокая чистота продуктов синтеза, обусловленная высокими температурами горения (2000...3000 °С и выше) и разложением и испарением примесей; возможность получения многокомпонентных соединений в одну стадию в волне горения: использование технологически простого и малогабаритного оборудования [27].

Один из распространенных способов реализации СВС - локальное инициирование реакции на поверхности системы путем подвода кратковременного теплового импульса (электрическая спираль, электроискровой разряд, лазерный луч и др.) с формированием волны горения, и ее распространением по не нагретому исходному веществу (режим послойного горения). Для слабо экзотермических реакций или для смесей с большим содержанием инертных наполнителей для инициирования реакции синтеза необходим предварительный подогрев шихты в печи (рисунок 3). Шихта в СВС-процессах может находиться в вакууме, на открытом воздухе, в инертном или реагирующем газе под давлением.

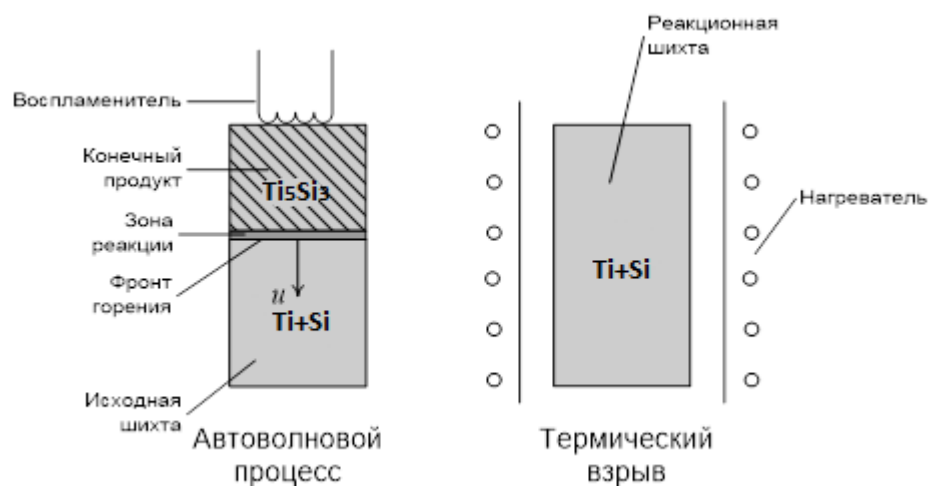


Рисунок 3 - Способы инициирования реакции СВС

В простейшем стационарном режиме горения все точки фронта движутся с постоянной во времени и одинаковой скоростью. Когда стационарный режим теряет устойчивость, возникают неустойчивые режимы распространения фронта: плоские автоколебания скорости фронта горения (пульсирующее горение); локализация реакции горения в очагах, движение фронта горения по винтовой траектории (спиновые волны); беспорядочное движение множества очагов горения. Волна горения не распространяется по шихте в случае сильных теплотерь в окружающую среду (малые диаметры шихтовых образцов, низкие адиабатические температуры взаимодействия реагентов).

В волне горения протекают различные химические, физические и физико-химические процессы, обеспечивающие в своей совокупности необходимое тепловыделение. Волна имеет определенную протяженность и состоит из ряда зон:

- зона прогрева (реакции горения еще не протекают, а только осуществляется теплоперенос и нагрев шихты);
- зона реакции (протекают основные реакции горения, обеспечивающие необходимое тепловыделение);
- зона догорания (продолжаются химические реакции, но они уже не влияют на скорость распространения фронта);

- зона вторичных физико-химических превращений, определяющих состав и структуру конечных продуктов.

Реакция СВС характеризуется: скоростью распространения фронта (достигает нескольких сантиметров в секунду), максимальной температурой и темпом нагрева вещества в волне стационарного горения, пределом погасания (отсутствия горения при любых условиях инициирования), пределом потери устойчивости горения, глубиной химического превращения исходных реагентов в конечные продукты. Возможен также синтез в режиме термического взрыва, когда при нагреве реакционной смеси происходит ее самовоспламенение. При реакции синтеза в режиме теплового взрыва отсутствует волна горения с четко выраженным движущимся фронтом.

1.3. Спекание

Спекание порошковых материалов представляет собой термическую обработку свободно насыпного порошка или спрессованных заготовок при температуре 0,7 – 0,9 абсолютной температуры плавления металла порошка или температуры плавления основного металла в многокомпонентной системе порошков. Во время спекания происходит изменение размеров, структуры и свойств исходных материалов, протекают процессы поверхностной, разнообразные дислокационные явления, осуществляются перенос вещества через газовую фазу, химические реакции, релаксация микро- и макронапряжений, рекристаллизация частиц и др. [29].

При нагреве многокомпонентных порошковых материалов допустимо плавление каких-либо элементов (но не основного), в таком случае появление жидкой фазы даст существенное влияние в закономерности спекания. По этой причине установлено две основные разновидности процесса спекания: *твердофазное*, т.е. отсутствие образования расплава в ходе нагрева, и *жидкофазное*, при котором какие-либо легкоплавкие компоненты смеси порошков или структурные составляющие материала в процессе нагрева расплавляются [28-30].

Твердофазное спекание. Твердофазным называется спекание порошкового тела без образования жидкой фазы. При твердофазном спекании протекают следующие основные процессы: поверхностная и объемная диффузия атомов, усадка, рекристаллизация, перенос атомов через газовую среду [29].

Жидкофазное спекание. Жидкофазным называют, если его проводят при температуре, обеспечивающей появление жидкой фазы. Процесс спекания с участием жидкой фазы находит огромное техническое применение, в частности, при производстве изделий, в состав которых входят карбиды металлов. Они обладают большой твердостью и в связи с этим широко используются при производстве режущего инструмента. Жидкая фаза, кристаллизуясь, играет роль связки, цементирующей изделие в целом. Технология спекания с участием жидкой фазы широко применяется при производстве различных композитных материалов [28-30].

Технология спекание порошковых металлов делиться на два типа: спекание под давлением, свободное спекание.

Спекание под давлением. Спекание под давлением происходит: а) при получении изделий с теми же значениями плотности и механическими свойствами, но при значительно короткой длительности спекания или же низкой температуре; б) при сохранении таких же режимов спекания во временном и температурном интервале, но существенно увеличивая плотность и механические свойства изделий по сравнению со спеканием без давления; в) при применении значительно более грубых порошков, чем при спекании без давления [29].

Свободное спекание. Свободное спекание (спекание порошка без приложения внешних сил) является термически активируемым процессом сокращения свободной поверхности пористого порошкового тела, сопровождающимся консолидацией дискретных элементов дисперсной системы в единое целое. Сокращение свободной поверхности спекающегося порошкового тела происходит путем уменьшения объема пор, уменьшения

количества пор при увеличении их размеров, ликвидации поверхностей раздела на межчастичных контактах и роста контактных мостиков [30].

Наиболее надежный способ получения качественных композиционных порошков – *вакуумное спекание* прессованных смесей порошков. Технологические параметры процесса порошкового спекания дают возможность управлять структурой композиционного материала, включая дисперсность силицидной фазы и фазовый состав металлической связки.



Рисунок 4 –Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/160

1.4. Электронно-лучевая наплавка

Электронно-лучевая наплавка (ЭЛН) — это процесс получения на поверхности детали покрытия заданной формы и свойств с помощью электронного луча [31-32]. Эта технология позволяет формировать одно- и многослойные покрытия различного функционального назначения (упрочняющие, износостойкие, жаропрочные, жаростойкие и т. д.) на поверхности изделий из стали, чугуна, меди, бронзы и других сплавов. При ЭЛН не возникает проблем адгезии. Высокая повторяемость результатов технологии электронно-лучевой наплавки в совокупности с гибкостью управления технологическим процессом позволяет формировать покрытия с необходимой структурой и заданными свойствами. ЭЛН реализуется

в специализированных установках. Технологический процесс полностью автоматизирован.

Технология электронно-лучевой наплавки основана на уникальной способности электронного луча концентрировать энергию. Так, например, электронный луч мощностью несколько киловатт можно сфокусировать в пятно диаметром меньше миллиметра. Если его направить на поверхность детали, то металл мгновенно начнет плавиться в области падения луча. При этом сама деталь останется холодной, и, если луч убрать, — металл мгновенно кристаллизуется. Принцип электронно-лучевой наплавки показан на рисунке 5. Электронный луч создает на поверхности детали ванну расплавленного металла. В него с помощью дозатора подается порошок, частицы которого создают на поверхности покрытие с необходимыми свойствами. Наплавляемая деталь перемещается внутри вакуумной камеры относительно неподвижной электронной пушки и порошкового дозатора, или электронная пушка с дозатором перемещаются относительно неподвижной детали.

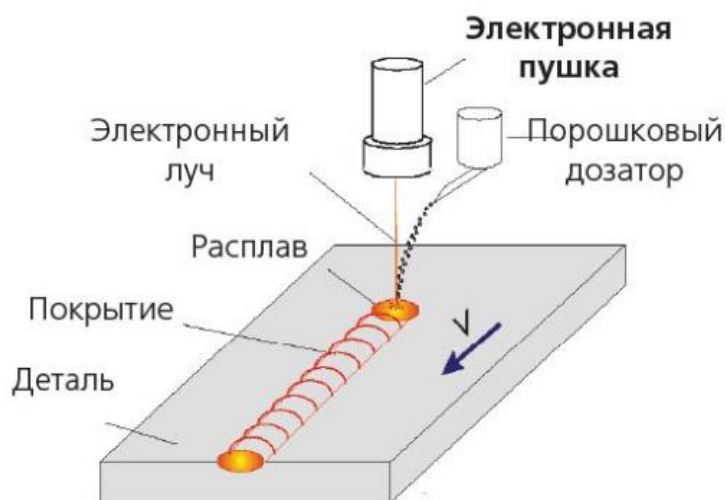


Рисунок 5 – Принцип работы электронно-лучевой наплавки

Технология многопроходной электронно-лучевой наплавки основана на явлении «вмораживания» порошка в жидкометаллическую ванну расплава. При каждом последующем проходе «вмораживается» новая порция порошка и расплавляется предыдущая. Порошок, подаваемый в жидкометаллическую

ванну расплава, ускоряет процесс ее кристаллизации, способствуя при этом формированию мелкозернистой структуры и уменьшению остаточных напряжений в наплавляемом покрытии. Необходимая толщина наплавленного слоя достигается путем изменения скорости подачи порошка или увеличения числа проходов. Большая скорость кристаллизации способствует формированию однородной мелкодисперсной структуры наплавленного слоя.

Для электронно-лучевой наплавки пригодны порошки, имеющие дисперсность 50–350 мкм. Порошки, дисперсностью менее 50 мкм, обладают недостаточной сыпучестью в вакууме, и поэтому трудно обеспечить их подачу непосредственно в ванну расплава. Для расплавления порошков крупнее 350 мкм требуется больший энерговклад, что приводит к дополнительному проплавлению основы и увеличению остаточных напряжений.

В зависимости от формы изделий и требований к покрытию могут быть использованы различные схемы нанесения покрытий (рисунок 6).

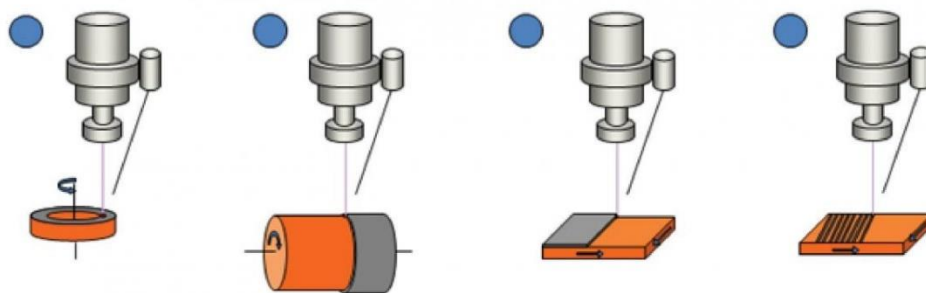


Рисунок 6 – Схемы процесса электронно-лучевой наплавки

Параметрами, характеризующими процесс наплавки, являются энергия и ток электронного луча, его диаметр, размеры и форма развертки луча на поверхности детали, скорость перемещения детали, скорость подачи порошка.

Отличительной особенностью ЭЛН является протяженная (до 1 мм) переходная зона «основа-покрытие» (рисунок 7). Поскольку порошок вплавляется в поверхность детали, свойства материала от основы к покрытию меняются плавно. Понятие адгезии при таком способе нанесения покрытий исчезает.

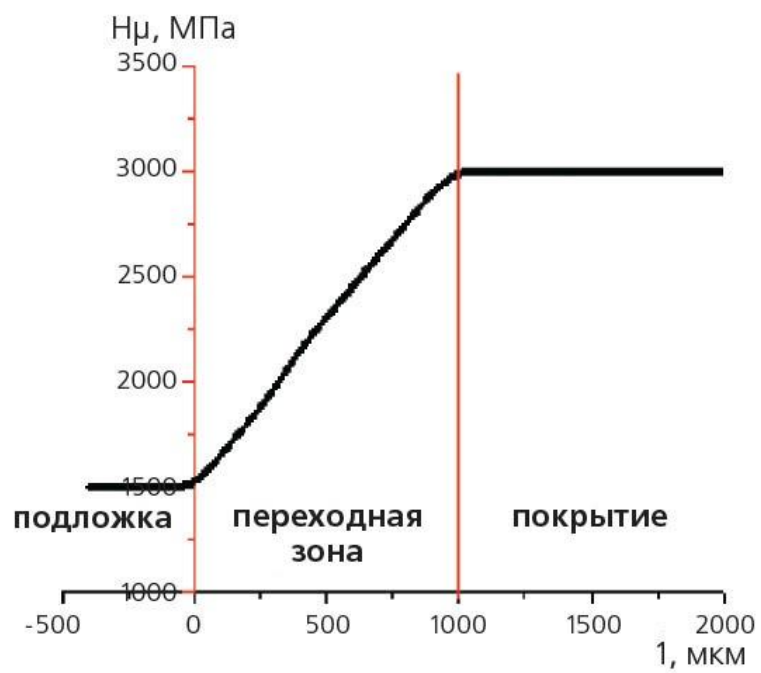


Рисунок 7 – Распределение микротвердости

Оборудование для ЭЛН состоит из вакуумной камеры, размеры которой определяются номенклатурой обрабатываемых изделий, электронной пушки и манипулятора. На рисунке 8 показан внешний вид установки для ЭЛН. Эта установка эксплуатируется на Западно-Сибирском металлургическом комбинате с 2007 года. На ней осуществляется нанесение покрытий на поверхность кислородных фурм, лопатки эксгаустера и другие изделия, применяемые в металлургии.

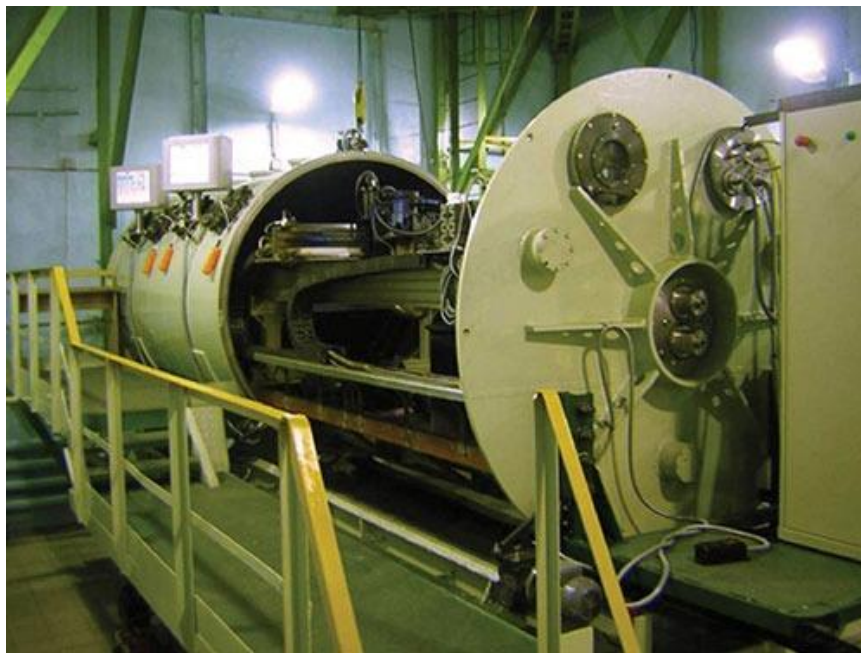


Рисунок 8 – Внешний вид установки ЭЛН

2. Материалы и методы

2.1. Описание экспериментальных методик и материалов

В этом разделе магистерской диссертации описаны примененные материалы и экспериментальные методики, использованные в исследованиях.

Материалы:

Таблица 1 – Состав и весовое соотношение исходных порошков

Порошки/Состав	Ti ₅ Si ₃ +об.10%	Ti ₅ Si ₃ +об.20 %	Ti ₅ Si ₃ +30об.%	Ti ₅ Si ₃ +40об.%
	Ti	Ti	Ti	Ti
Порошок титана марки «ТПП-8»	76,06 г	75,84 г	75,63 г	75,40 г
Порошок кремния высокочистый полупроводниковый	23,94 г	24,16 г	24,37 г	24,60 г
Итого	100 г	100 г	100 г	100 г

Порошок титана марки «ТПП-8» представляет собой порошкообразное вещество, изготовленное из сплава титана и с компонентами: 2,1% железо, 1,1% азота, 0,5% хлора

Смешивание и прессование порошков:

Порошки предварительно смешивали в смесителе типа "пьяная бочка" в течение 4-х часов, после чего прессовались в цилиндрический штабик высотой 100 мм и диаметром 40 мм.

СВС-синтез:

Поджог производился путем пропускания большого тока в течение двух секунд через молибденовую спираль. При сгорании порошка волна горения распространялась тем медленнее, чем больше инертной связки было

в порошке. Это объясняется тем, что избыточное содержание титана уменьшает количество областей протекания экзотермической реакции соединения титана и кремния, что приводит к снижению максимальной температуры фронта горения и снижает тем самым скорость сгорания.

Дробление порошков на фракции:

Полученные спеки были раздроблены на порошок различной фракции. В среднем размер полученных после размолта частиц композиционного порошка составил от 50 до 350 мкм. При размолте наблюдалась следующая тенденция: с увеличением содержания связки размалывать порошок становилось труднее, что привело к формированию более крупной фракции.

Обжиг:

Раздробленный порошок был подвержен обжигу в вакуумной печи при температуре 800 °С продолжительностью 1 час, для снятия напряжений и химической активности.

Оборудование: Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/160.

Прессование и спекание:

Часть порошков после обжига спрессовали в четыре прессовки диаметром около 10 мм, высотой около 15 мм с помощью двухсторонней цилиндрической пресс-формы с плавающим пуансоном, и после спекли в вакуумной печи с температурой 1300 °С продолжительностью 3 часа. Для улучшения прессования добавляли пластификатор (раствор каучука с бензином). Спекание проходило в два этапа: 1) медленная отгонка пластификатора при нагреве до 500 °С; 2) последующий нагрев до температуры спекания со средней скоростью 5-7 °С/мин.

Оборудование: Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/160.

Электронно-лучевая наплавка:

Вторая часть порошков была отправлена на электронно-лучевую наплавку. Наплавка производилась с помощью вакуумной установки для электронно-лучевой наплавки «Луна-1» на подложке из титанового сплава ВТ1-0, толщиной 4 мм при следующих режимах: ускоряющее напряжение 27 кВ, ток луча до 100 мА, амплитуда сканирования непрерывного электронного луча – 20 мм, скорость продольного перемещения подложки – 3 мм/сек. Скорость подачи порошкового наплавочного материала в зону наплавки – 50 г/мин.

Таблица 2 – Состав и масса порошков для ЭЛН

Порошки/Состав	Ti ₅ Si ₃ +об. 10-80% Ti	Ti ₅ Si ₃ +об. 20-80% Ti	Ti ₅ Si ₃ +об. 30-80% Ti	Ti ₅ Si ₃ +об. 40-80% Ti
ТПП-8	78,5 г	75,8 г	72,3 г	67,6 г
Ti ₅ Si ₃ +об.10% Ti	21,5 г	-	-	-
Ti ₅ Si ₃ +об.20% Ti	-	24,2 г	-	-
Ti ₅ Si ₃ +об.30% Ti	-	-	27,7 г	-
Ti ₅ Si ₃ +об.40% Ti	-	-	-	32,4 г
Итого	100 г	100 г	100 г	100 г

Порошок марки «ТПП-8» фракция 50-160мкм;

Порошки Ti₅Si₃+об.X% Ti фракция 50-300мкм.

Шлифовка полировка и травление образцов:

Для осуществления оптических фотографий изготавливались металлографические шлифы на специализированном станке (Saphir 720, Германия). Все шлифы предварительно осматривались на инвертированном металлографическом микроскопе МИМ-9.

Исходные порошки заливались эпоксидной смолой и далее шлифовались. Наплавки распиливались на образцы 15x20мм и подвергались триботехническим испытаниям.

Шлифование проходило поэтапно:

- 1) Шлифовка на шкурке – 20 минут, нагрузка 50Н, скорость вращения 350 об/мин, охлаждение водой.
- 2) Алмазная паста, фракция 14-10 мкм. – 15 минут, 40Н, 400 об/мин.
- 3) Алмазная паста, фракция 5-3 мкм. – 15 минут, 35Н, 450 об/мин.
- 4) Алмазная паста, фракция 1-0 мкм – 15 минут, 30Н, 500 об/мин.

Все полученные шлифы осматривались на наличие крупных царапин и при необходимости операция повторялась. Если качество поверхности не вызывало нареканий, то шлиф протравлялся с помощью раствора азотной кислоты HNO_3 . На торцевую поверхность образца наносилась кислота в течении 3-5 секунд и уже после образцы подвергались промывке мощной струей воды.

Исследование:

Композиционные порошки и наплавки были исследованы на оборудовании Центра коллективного пользования «Нанотех» ИФПМ СО РАН методом рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-7, Буревестник, Россия), оптической металлографии (AXIOVERT-200MAT, Zeiss, Germany) и растровой электронной микроскопии (EVO 50, Zeiss, Germany).

3. Результаты исследований

3.1. Результаты исследования синтезированных порошков $\text{Ti}_5\text{Si}_3\text{-Ti}$

На рисунке 9 приведена зависимость температуры горения от содержания титановой связки. Как видно из графика с увеличением содержания титановой связки температура горения в образцах уменьшается, это обуславливается увеличением % содержания титана.

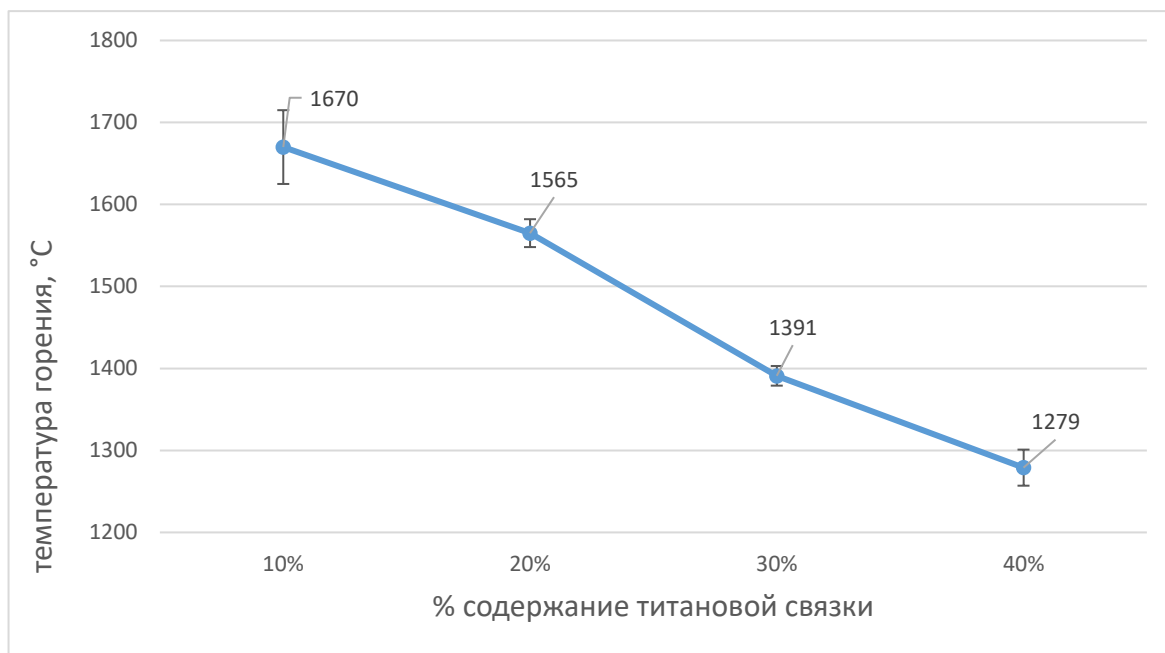
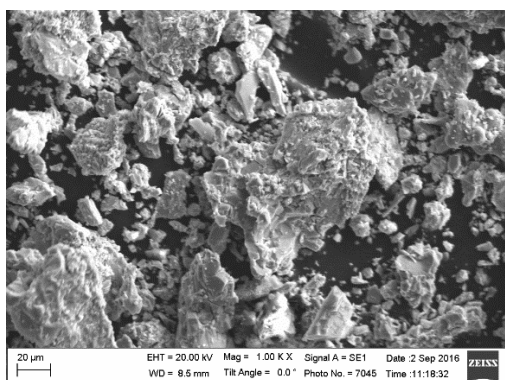


Рисунок 9 – Зависимость температуры горения от содержания титановой связки

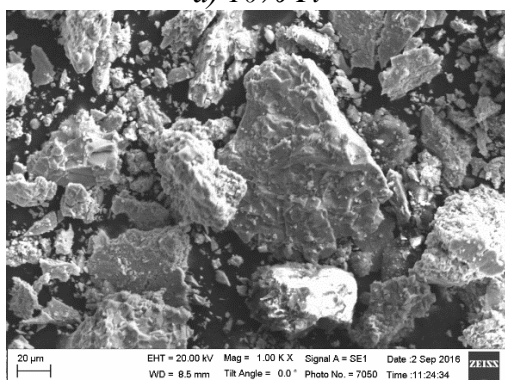
Результаты оптической и растровой электронной микроскопии шлифов композиционных порошков приведены на рисунке 10. На оптических фотографиях с протравленными металлографическими шлифами порошков, залитых в эпоксидную смолу (рисунок 10 б, г, е, з), видим, что включения силицида титана имеют округлую и в некоторых местах овальную формы представлены в структуре композита либо в виде изолированных частиц, либо образуют сrostки из смежных частиц.



а) 10% Ti



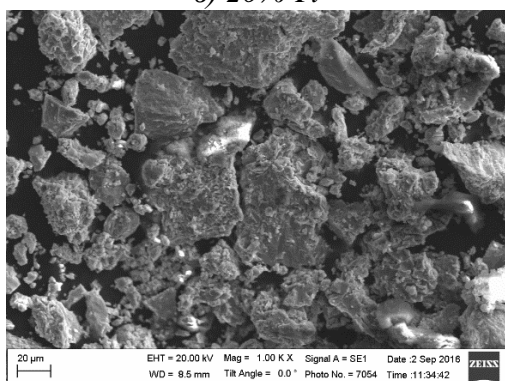
б) 10% Ti



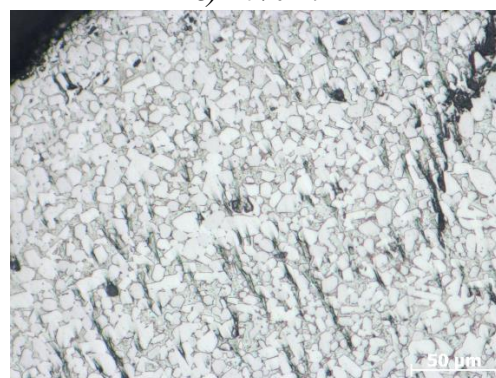
в) 20% Ti



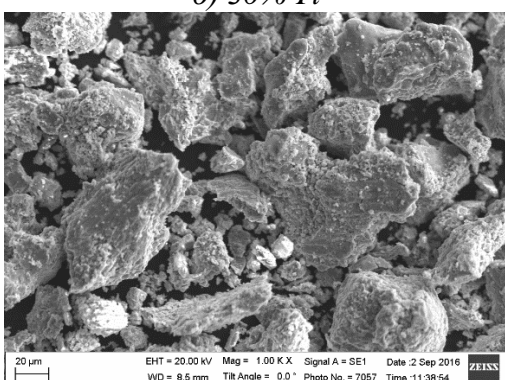
г) 20% Ti



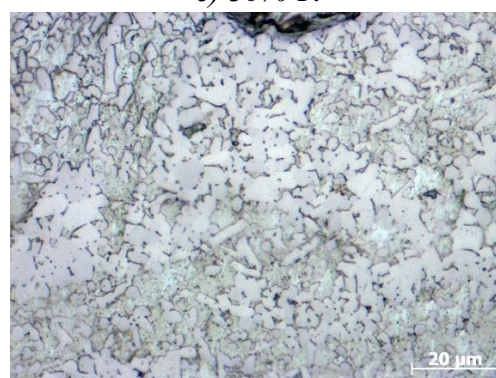
д) 30% Ti



е) 30% Ti



ж) 40% Ti



з) 40% Ti

Рисунок 10 – Морфология (а, в, д, ж) и внутренняя структура (б, г, е, з) гранул композиционного порошка с объемным содержанием связки: 10% (а, б) 20% (в, г); 30% (д, е); 40% (ж, з).

По вышеизложенным фотографиям была определена дисперсность силицидной фазы, которая монотонно уменьшается с увеличением содержания титановой связки (от 7 мкм в образцах с 10 об.% Ti до 3 мкм в образцах с 40 об.% Ti), также уменьшается разброс в значениях размера частиц. На рисунке 11 представлен график среднего размера частиц в зависимости от содержания титановой связки в образцах.

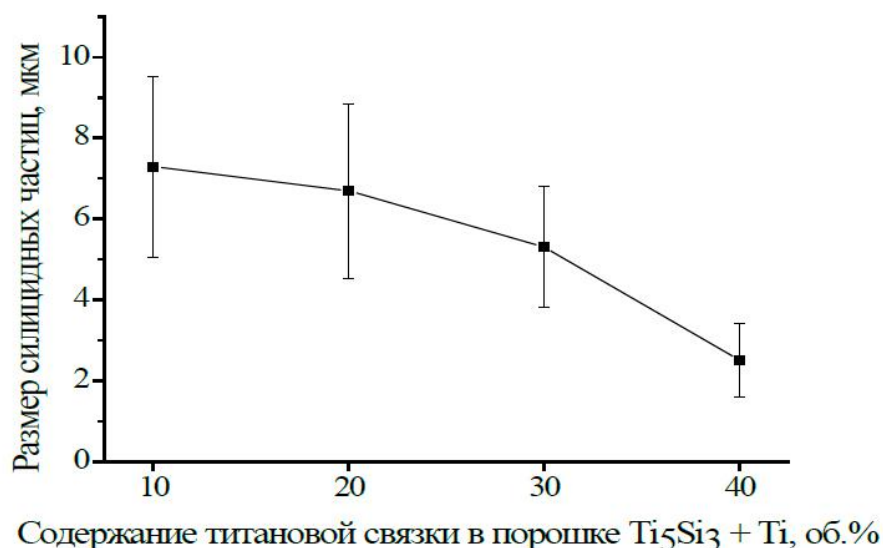


Рисунок 11 – Средний размер силицидных частиц в порошке $Ti_5Si_3 + x$ об. % Ti

Рентгенограммы с продуктов синтеза приведены на рисунке 12. Объектом съемки были порошки дисперсностью менее 56 мкм. Режим съемки: CuK_{α} – излучение, шаг 0.05° , время экспозиции 5 сек, интервал съемки от 25 до 100° . Идентификация фаз была проведена с использованием картотеки рентгеновских данных ASTM. Содержание фаз в СВС-композитах (таблица 3) оценивали по площади под пиками.

Таблица 3 – Ориентировочное содержание фаз в СВС композитах

Объект	Ti_5Si_3	Ti	? ($TiH_{0.71}$)
$Ti_5Si_3+10\%Ti$	86.4	11.1	2.5
$Ti_5Si_3+20\%Ti$	78.3	9.3	12.4
$Ti_5Si_3+30\%Ti$	74.9	19.3	5.8
$Ti_5Si_3+40\%Ti$	59.7	29.7	10.6

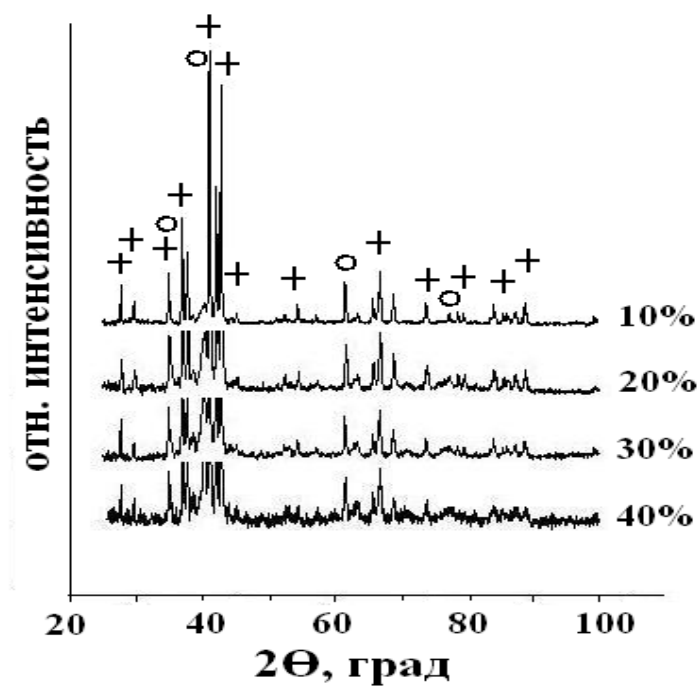


Рисунок 12 – Рентгенограммы СВС композиционных порошков $Ti_5Si_3 + x$ об. % Ti

В таблице 4 приведены параметры кристаллической решетки титана и силицида, определённой закономерности изменения параметров фаз решетки нет.

Таблица 4 – Параметры кристаллической решетки титана и силицида

	Ti		Ti_5Si_3	
	а, в, нм	с, нм	а, в, нм	с, нм
$Ti_5Si_3+10\% Ti$	0.2949	0.4685	0.7436	0.5131
$Ti_5Si_3+20\% Ti$	0.2944	0.4665	0.7421	0.5127
$Ti_5Si_3+30\% Ti$	0.2957	0.4685	0.7434	0.5138
$Ti_5Si_3+40\% Ti$	0.2952	0.4674	0.7443	0.5144

3.2. Исследование спекания синтезированных порошков Ti_5Si_3 -Ti

Спекание композиционных порошков силицид титана – титан сопровождается усадкой прессовок. На рисунке 13 показано изменение пористости образца $Ti_5Si_3 + 40\%Ti$ при температуре $1350\text{ }^{\circ}C$ в течении 3х часов в вакуумной печи. Как видно из диаграммы, пористость прессовок из композиционных порошков уменьшилась на 15% по сравнению с предыдущим состоянием.

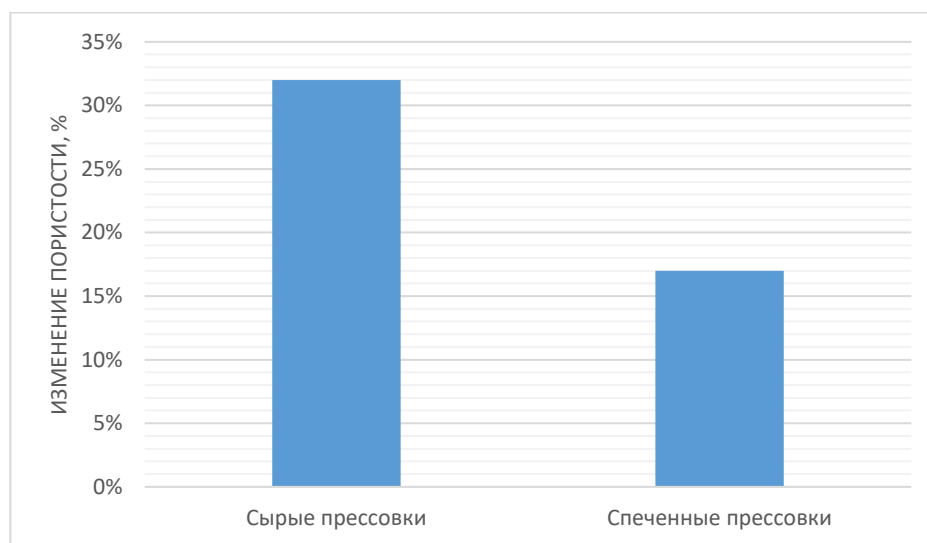


Рисунок 13 – Изменение пористости $Ti_5Si_3 + 40\%Ti$, $1350\text{ }^{\circ}C$

Также спекание композиционных порошков сопровождается изменением плотности, на рисунке 14 представлено изменение плотности образцов, спеченных при разных температурах, при $1200\text{ }^{\circ}C$ и при $1350\text{ }^{\circ}C$.

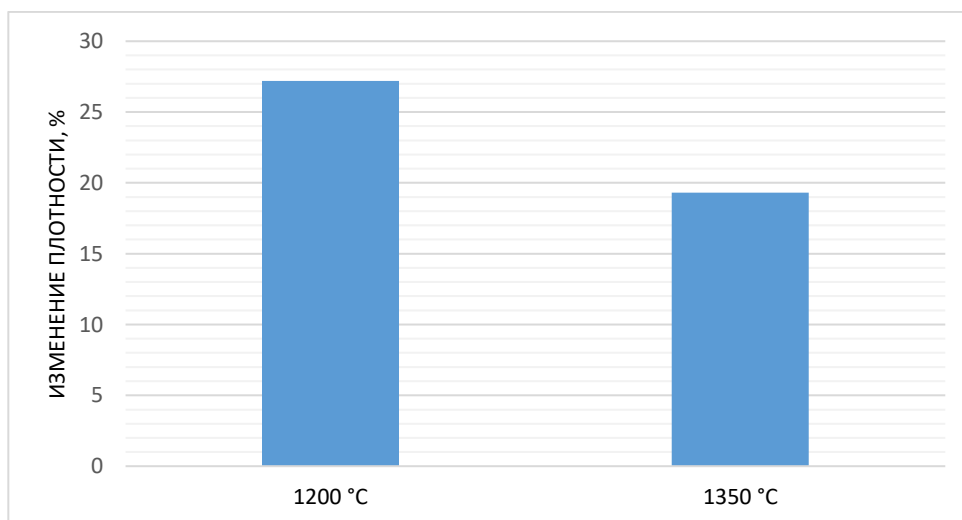


Рисунок 14 – Изменение плотности $Ti_5Si_3 + 40\%Ti$

Микрофотографии, представленные на рисунке 15 показывают внутреннюю структуру образцов $Ti_5Si_3 + 40\%Ti$ спеченных при разных температурах. Рисунок, а) – 1200 °С и рисунок б) – 1350 °С. Можно заметить, что увеличение температуры спекания образцов на 150 °С, заметно влияет на размеры силицидных частиц, они увеличились в несколько раз.

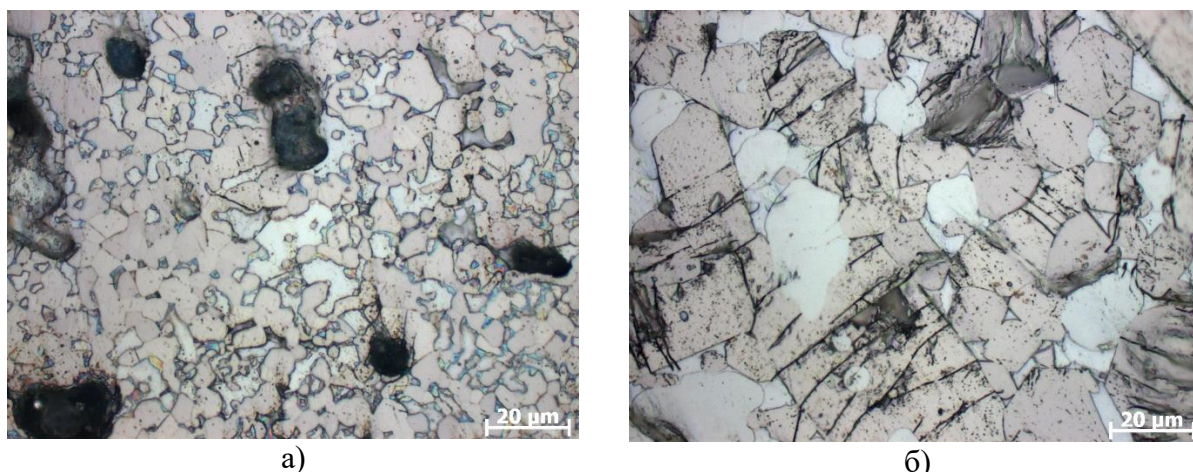


Рисунок 15 – Микроструктура $Ti_5Si_3 + 40\%Ti$ при температурах спекания: а) 1200 °С, б) 1350 °С.

В таблице 5 приведено относительное содержание фаз образцов $Ti_5Si_3 + 40\%Ti$ спечённых при разных температурах. Эти сведения так же подтверждают увеличение силицидных частиц при повышении температуры спекания.

Таблица 5 – Относительное содержание фаз

Образец	$T_{\text{спекания}}$	Ti_5Si_3 (29-1362)	Ti_5Si_3 (89-3721)	Ti (5-682)	TiO (9-240)
$Ti_5Si_3 + 40\%Ti$	1200°C	50.5	13.1	14.7	21.7
$Ti_5Si_3 + 40\%Ti$	1350°C	50.3-44.6 -	25.4 81.4-75.7	7.6-13.3 7.6-13.3	10.9 10.9

Рентгенограммы с продуктов синтеза приведены на рисунке 16. Режим съемки: Cu – излучение, 10 град/мин, интервал съемки от 25 до 100°. Идентификация фаз была проведена с использованием картотеки рентгеновских данных ICDD, базы PDF-4+.

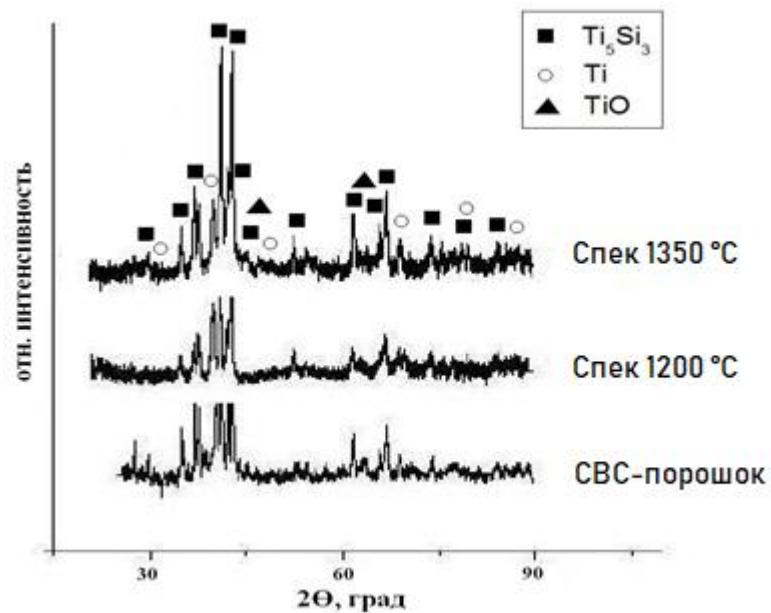


Рисунок 16 – Рентгенограмма спеченных образцов $\text{Ti}_5\text{Si}_3+40\%\text{Ti}$

Как видно из рентгенограммы образцы $\text{Ti}_5\text{Si}_3+40\%\text{Ti}$ спеченные при 1350 °C, обладают большей относительной интенсивностью по сравнению с образцами, спеченными при температуре 1200 °C.

3.3. Результаты исследования наплавленных покрытий Ti_5Si_3 -Ti

На наплавленных покрытиях был приготовлен поперечный шлиф, микрофотографии наблюдаемой структуры представлены на рисунке 17.

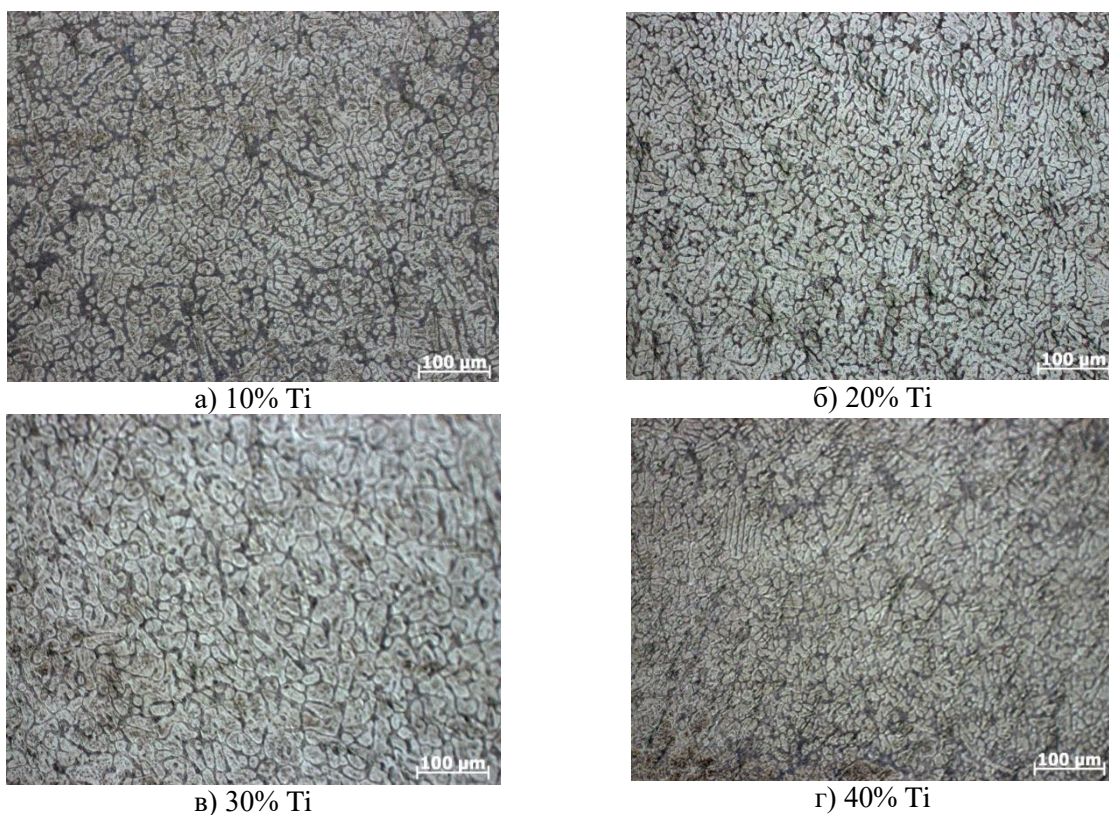


Рисунок 17 – Микрофотографии поперечного шлифа наплавов $Ti_5Si_3 + x$ об. % Ti

Как видно, покрытия не обладают ярко выраженной композиционной структурой, и с увеличением связки пространство между силицидными частицами в среднем остается неизменным, однако изменяется размер самих частиц. Средний размер частиц во всех полученных наплавках приведен на рисунке 18. Исходя из полученных данных можно сказать, что в среднем размер частиц монотонно уменьшается с увеличением содержания связки (от 11 мкм в наплавках с 10 об. % Ti до 8 мкм в наплавках с 40 об. % Ti), однако разброс в значениях размера частиц с увеличением содержания связки увеличивается. Так, в наплавках с 40 об. % титановой связки присутствуют силицидные частицы размера как 14 мкм, так и 3 мкм.

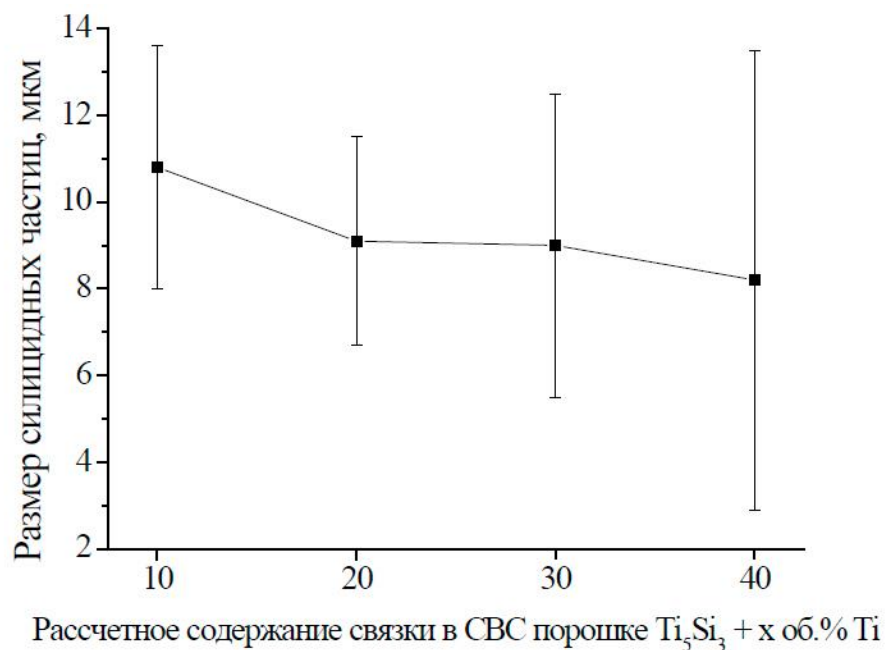


Рисунок 18 – Средний размер силицидных частиц в наплавках $Ti_5Si_3 + x$ об. % Ti

Все полученные покрытия были испытаны на износостойкость, также на всех образцах была измерена микротвердость (рисунок 19).

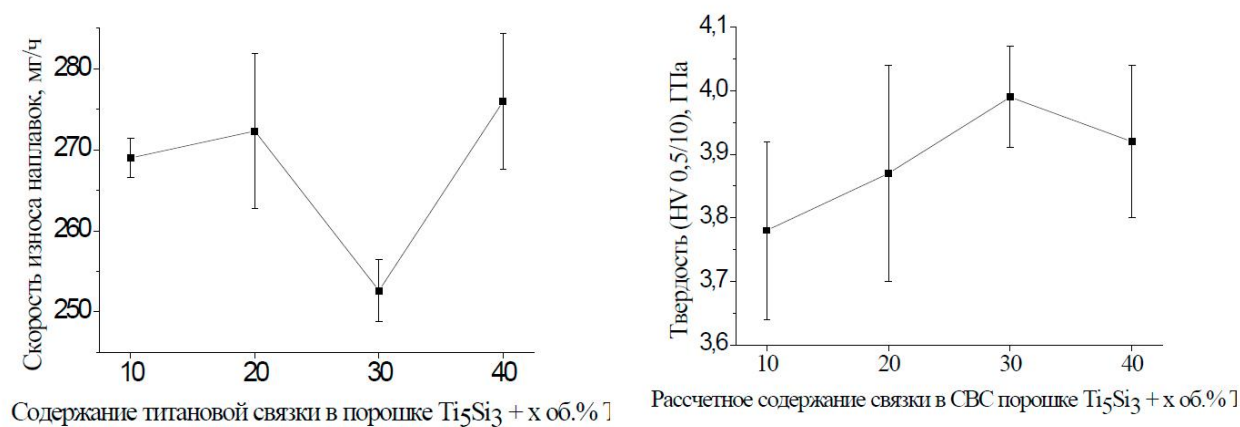


Рисунок 19 – Скорость износа (слева) и микротвердость (справа) наплавки $Ti_5Si_3 + x$ об.% Ti

Минимальной скоростью износа (соответственно наибольшей износостойкостью), а также наибольшей твердостью обладают наплавки с содержанием 30 об. % титановой связки. Наименьшей износостойкостью (в связи с наибольшей скоростью износа) обладают образцы с содержанием связки 40 об. %. Это связано с тем, что в этих образцах наряду с мелкими частицами (около 3 мкм) присутствуют достаточно крупные (около 14 мкм), которые при изнашивании уносятся целиком, значительно увеличивая скорость износа.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Данковцев Григорий Олегович

Школа	ИШНПТ	Отделение	материаловедения
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1. <i>Потенциальные потребители результатов исследования;</i> 2. <i>Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;</i> 3. <i>SWOT-анализ;</i> 4. <i>Инициация проекта.</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Оценка сравнительной эффективности исследования. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Данковцев Г.О.		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Введение

В этом разделе магистерской диссертации рассмотрены вопросы, касающиеся финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения исследовательской работы.

Целью этого раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта на тему: композиционные порошки «силицид титана – титан» и покрытия, полученные с их применением.

Для достижения вышеупомянутой цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Разработать общую экономическую идею проекта, сформировать концепции проекта;
- Организовать работы по научно-исследовательскому проекту;
- Определить возможные альтернативные проведения научных исследований;
- Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Определить ресурсную (ресурсосберегающую), финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективность исследования.

4.2. Потенциальные потребители результатов исследования

Научный проект заинтересован в тех потребителях, которые заинтересованы в его разработке. Следовательно, необходимо четко представлять, кто является конечным потребителем проекта или, кто может стать им в будущем и по какой причине они эту разработку приобретают, т. е. в итоге определить свой целевой рынок.

Рассмотрим целевой рынок и проведем сегментирование по применению порошковых материалов и изделий из них, в различных отраслях промышленности. Примем во внимание два критерия: тип продукта и объем потребления. На основании этих критериев построим карту сегментирования рынка в виде таблицы 6.

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка для композиционных порошков

		Тип продукта	
		Композиционные порошки	Композиционные изделия
Объём потребления	Мелкий	++++/*	***
	Средний	++++	**
	Крупный	++++	*

*Примечание: * - космическая промышленность и авиастроение; ** - машиностроение; *** - приборостроение; ++++ - компании по производству изделий из порошков.*

Из анализа сегментов рынка видно, что композиционные изделия с крупным объемом потребления относятся к космической промышленности и авиастроению, средний объем относится к машиностроению, а мелкий объем потребления к приборостроительной отрасли. Области, выделенные ++++ относятся к компаниям, которые могут производить композиционные изделия из порошковых материалов, они и являются нашими ключевым потребителем, ведь они производят изделия для всех видов промышленности. Данная ниша не занята на рынке разработки и изготовления композиционных порошков для дальнейшего их использования в различных промышленности.

4.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

На сегодняшний день композиционные порошковые материалы всё чаще используются в промышленности, приходя на замену дорогим сплавам, поскольку, при значительно более низкой цене, материалы на основе композиционных порошков обладают уникальным сочетанием твердости, прочности, пластичности и износостойкости при абразивном износе и в контактных парах.

Одно из применений порошковых материалов, актуальное на сегодняшний день - аддитивные технологии. Основу существующих на сегодняшний день порошков для аддитивных технологий составляют порошки чистых металлов и простых сплавов, а порошков, позволяющих «печатать» композиционные изделия катастрофически мало.

Проведем анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения изготовления композиционных порошковых материалов. Данный анализ выполним с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 7.

Таблица 7 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,2	4	3	0,8	0,6
2.Простота технологии получения	0,1	3	2	0,3	0,2
3.Энергоэкономичность	0,2	5	3	0,8	0,6
4. Надежность	0,05	4	4	0,20	0,20
5. Уровень шума	0,05	3	3	0,15	0,15
6.Экологичность материала	0,10	4	3	0,4	0,3
7. Область применения порошков	0,10	3	2	0,3	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
1.Конкурентоспособность продукта	0,1	4	2	0,4	0,2
2. Цена	0,05	3	3	0,4	0,45
3.Финансирование научной разработки	0,05	4	2	0,2	0,1
Итого	1	37	27	3,95	3,0

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, из проведенного анализа видно, что композиционные порошки являются конкурентоспособными. По сравнению с конкурентными разработками, эти порошки имеют значительное преимущество по следующим параметрам:

- повышение производительности труда;
- энергоэкономичность;
- цена.

4.4. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Основные преимущества данного проекта - универсальность, высокая производительность и возможность создания композиционного материала (изделия, покрытия) с заданными служебными характеристиками. Еще одной положительной особенностью является применение материала в различных отраслях промышленности, будь то инструментальная – можно создавать износостойкие покрытия на режущие инструменты, авиастроение – легкие и прочные композиционные изделия также, как и в автомобиле строении, приборостроение – покрытия для нагреваемых поверхностей (элементов) и т.п.

Но несмотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не проработана стабильная технология получения порошков, которые используются для нанесения покрытия, а также сама технология нанесения покрытия производится вручную, что вносит нестабильность в свойства получаемых покрытий.

Более подробные сильные и слабые стороны исследовательского проекта, а также возможности и угрозы проекта изложены в таблицу 8 (матрица SWOT).

Таблица 8 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>С1. Возможность модифицирования состава исходного материала;</p> <p>С2. Высокая работоспособность изделия;</p> <p>С3. Улучшение свойств поверхностей изделий;</p> <p>С4. Снижение себестоимости изделия.</p>	<p>Слабые стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл2. Не отработана технология получения порошков, которые в дальнейшем используются для нанесения покрытий;</p> <p>Сл3. Вероятность структурообразования составов;</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (т.е. использование научного оборудования);</p> <p>В2. Возможность внедрения технологии в производство;</p> <p>В3. Возможность участия в грантах, для повышения производительности изделия;</p>	<p>С1 В2. Внедрение технологии в различные производства за счет возможности варьирования состава;</p> <p>С4 В2. Вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия);</p> <p>С2 В3. Участие в грантах приводят к улучшению высокой работоспособности изделия.</p>	<p>В1 Сл4. Новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака;</p> <p>В1 Сл1. Возможность изготовления прототипа;</p> <p>В3 Сл2. Возможность отработки технологии на средства из грантов.</p>

Продолжение таблицы 8

В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт.		
Угрозы: У1. Отсутствие оборудования для массового производства; У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия.	У1 С1. Возможность изменить состав для повышения конкурентоспособности с новыми предложениями на рынке.	У2 Сл1. Нежелание крупных предприятий сотрудничать в условиях отсутствия прототипа и оборудования массового производства.

Проанализировав матрицу SWOT можно сказать, что у исследовательского проекта есть как сильные, так и слабые стороны. Улучшение свойств поверхностей изделий или получение совершенно новых композиционных изделий, обеспечит актуальность этой темы на протяжении многих лет, а возможность модифицирования исходного состава порошков продлит этот срок еще большим количеством времени. Угрозы У1 и У2 представляются серьезными и являются объектами для внимания при выводе разработки на рынок.

4.5. Инициация проекта

4.5.1. Цели и результаты проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 9.

Таблица 9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Университет	Наличие НИОКР
Магистрант	Защита магистерской диссертации с присвоением степени магистра.
Потребители	Повышение качества изделия с одновременным снижением ресурсозатрат.
Государство	Возможность импортозамещения.

В таблице 10 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 10 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	<p>1.Методом СВС синтезировать порошки $Ti_5Si_3 + Ti$ (10%, 20%, 30%, 40%);</p> <p>2. Исследовать микроструктуру и фазовый состав СВС порошков;</p> <p>3. Получить электронно-лучевые наплавки с использованием этих композиционных порошков;</p> <p>4. Исследовать структуру и свойства полученных покрытий.</p>
Ожидаемые результаты проекта:	Композиционные порошки и покрытия должны обладать определенными технологическими свойствами и характеристиками для дальнейшего их применения в промышленности.
Критерии приемки результата проекта:	Законченная научно-исследовательская работа, опробованная на международных конференциях и опубликованная в журналах.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение
	Выполнение проекта произведено в срок

4.5.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 11 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, дни.
Прибытков Геннадий Андреевич	<i>Заказчик проекта</i>	укрупненный анализ проектов по показателям сроков, освоению затрат и финансированию	50
Коростелева Елена Николаевна	<i>Руководитель проекта</i>	отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	100
Данковцев Григорий Олегович	<i>Исполнитель по проекту</i>	выполняет отдельные работы по проекту	500
Иванов Валерий Игоревич	<i>Инженер-технолог</i>	Отвечает за работу оборудования, выполняет технологические работы	50

4.5.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 12 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	25000 руб.
Источник финансирования	ИФПМ СО РАН
Сроки проекта:	
Дата утверждения плана управления проектом	13.09.2016
Дата завершения проекта	20.05.2018

4.5.4 Сырье, материалы, комплектующие изделия

В таблице 13 приведены накладные расходы, связанные с приобретением сырья, материалов и комплектующих изделий для проведения исследования.

Таблица 13 – Сырье и материалы для исследования

Наименование	Марка	Количество	Цена за ед.	Сумма
Промышленный порошок титана	ТПП-8	1 кг	5000 руб.	5000 руб.
Порошок кремния высокочистый полупроводниковый	-	1 кг	2000 руб.	2000 руб.
Круг шлифовальный	Bosch	1 уп.	1000 руб.	1000 руб.
Шлифовальная паста	3М	3 шт.	2000 руб.	6000 руб.
Кислота	HNO_3	1000 мл	300 руб.	300 руб.
Всего за материалы				14300 руб.
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				715 руб.
Итого				15015 руб.

Итоговая стоимость сырья составит 15015 рублей.

4.5.5 Затраты на специализированное оборудование

В таблице 14 включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппараты, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 14 – Оборудование для проведения исследования

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования	Общая стоимость оборудования
Вытяжной шкаф	1	42 тыс. руб.	42 тыс. руб.
Смеситель пьяная бочка	1	70 тыс. руб.	70 тыс. руб.
Установка для прессования	1	250 тыс. руб.	250 тыс. руб.
СВС установка	1	2,5 млн. руб.	2,5 млн. руб.
Вакуумная печь	1	300 тыс. руб.	300 тыс. руб.
Шлифовальный станок	1	15 тыс. руб.	15 тыс. руб.
Полировальный станок «Saphir 520»	1	600 тыс. руб.	600 тыс. руб.
Микроскоп «Axiovert 200 mat»	1	3,7 млн. руб.	3,7 млн. руб.
Компьютер	1	30 тыс. руб.	30 тыс. руб.
Всего			7,5 млн. руб.
Затраты на доставку и монтаж 15%			1,2 млн. руб.
Итого			8,7 млн. руб.

Суммарные затраты на оборудование обходятся почти в 9 млн. руб.

4.5.6 План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен линейный план график в виде таблицы и представлен ниже:

Таблица 15 – Линейный план график научного проекта

№	Название	Длительность	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Подготовка материалов	4 мес	09.2016г	01.2017г	Прибытков Г.А. Коростелева Е.Н. Данковцев Г.О.
2	Выполнение исследовательской работы	5 мес	01.2017г	05.2017г	Иванов В.И. Данковцев Г.О.
3	Анализ результатов	4 мес	09.2017г	01.2018г	Коростелева Е.Н. Данковцев Г.О.
4	Оформление результатов исследования	5 мес	01.2018г	05.2018г	Прибытков Г.А. Коростелева Е.Н. Данковцев Г.О.

4.5.7 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 16– Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4

Продолжение таблицы 16

7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11	Проработаны вопросы между народного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4

Продолжение таблицы 16

15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
	Итого баллов	47	47

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i; \quad (2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Согласно проведенному анализу коммерциализация проекта, его перспективность на рынке является выше среднего уровня, что положительно влияет на его успешность.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Данковцев Григорий Олегович

Школа	ИШНПТ	Отделение	материаловедения
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Исследование проводилось на базе лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов ИФПМ СО РАН. При выполнении исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шума, недостаточной освещенности, электрического тока, вредных веществ, физических и эмоциональных перегрузок, умственного перенапряжения. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.</p> <p>В лаборатории в процессе работы с порошковыми материалами присутствуют пыль и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.</p>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	При выполнении исследования все данные были приняты по нормативам и стандартам РФ..

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>При выполнении работы для исследования образцов, в лаборатории используется 4% раствор азотной кислоты в спирте. Также при выполнении работы для исследования возникают разного рода шумы, от использования различного оборудования. Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски. Все работы проводятся в вытяжном шкафу. Для защиты от шума необходимо использовать наушники или затычки для ушей.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 	<p>При работе с источниками повышенной термо-опасности необходимо использовать перчатки и не открывать печь, до того момента пока ее внутренности не остыли до комнатных температур. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала. Помещение лаборатории можно отнести к первой ступени огнестойкости.</p>

– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности, СНиП 2.01.02. -85).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	В лаборатории в процессе работы с порошками неизбежно образуются взвеси пыли и аэрозолей. Для их удаления работы производятся в шкафах с вытяжной вентиляцией, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры. Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а также средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых применяют канализационную систему. Система канализации подсоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	Возможные чрезвычайные ситуации при выполнении проекта являются: поражение электрическим током, короткое замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	Расстояния между рабочими зонами, параметры освещения и микроклимата соответствуют нормам. Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Т.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Данковцев Г.О.		

5. Социальная ответственность

5.1. Введение

В этом разделе магистерской диссертации рассмотрены вопросы касающиеся безопасности жизнедеятельности исследовательской работы.

При проведении исследовательских работ для магистерской диссертации было использовано следующее оборудование: установка электронно-лучевой наплавки «ЛУНА-1», микроскоп «AXIOVERT-200MAT», шлифовально-полировальный станок «Saphir 520», дифрактометр «ДРОН-7» и вакуумная печь «СНВЭ-1.3.1/160».

В процессе подготовки исследуемых образцов выполнялась настройка оборудования, работа с ручным инструментом и работа с электронно-вычислительной машиной (ЭВМ).

5.2. Техногенная безопасность

5.2.1. Анализ вредных факторов производственной среды

Существует множество возможных проявлений вредных факторов в рабочей зоне, таких как: электромагнитное излучение, производственные метеоусловия, недостаточное или чрезмерное освещение, выброс вредных веществ, возникновение виброакустических полей и т.п. При выполнении исследовательской работы очевидно влияние следующих факторов: шум, тепловыделение, недостаточная или чрезмерная освещенность рабочего места, воздействие электрического тока, физическая и эмоциональная перегрузка.

Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические.

К физическим факторам можно отнести опасность поражения электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием, запитанным от электрической сети, а также возможность получения ожога от вакуумной печи. Воздействие излучений от монитора ЭВМ также относится к этой категории.

К химическим факторам относится наличие в воздухе металлической пыли, которая образуется при шлифовании и полировании образцов. При попадании в организм через дыхательные пути или поры кожи, пыль может вызвать профессиональные заболевания. Пыль может легко подниматься с пола вверх и проникать в легкие, когда человек дышит. Также при травлении образцов, можно насытиться парами кислот.

К психофизическим факторам можно отнести чрезмерное воздействие шума, монотонность работы, умственное перенапряжение и т.п. При обработке данных, полученных на рентгеновском дифрактометре или на микроскопе, оператор выполняет монотонную работу, что может вызвать возникновение нервных расстройств или переутомляемость.

На производительность труда влияют следующие опасные и вредные производственные факторы:

- недостаточная или чрезмерная освещенность рабочего места;
- высокий и продолжительный уровень шума;
- понижение или повышение температуры рабочей зоны;
- отклонение от нормативных значений влажности воздуха.

5.2.1.1. Шум

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются вентиляторы системы охлаждения и шлифовально-полировальный станок «Saphir 520».

Шум оказывает на организм человека негативное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Под влиянием шума учащаются пульс и дыхание, повышается расход энергии. Длительное воздействие шума оказывает негативное влияние на центральную нервную систему и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения. Со стороны психики наблюдается подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная

возбудимость. Шум снижает работоспособность и производительность труда, препятствует нормальному отдыху и нарушает сон. Под влиянием шума значительной силы наблюдается изменение нормальной деятельности различных органов и систем (изменение секреции желудочного сока, повышение кровяного давления и т. п.).

Уровень шума в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, не должен превышать 50 - 60 дБ[34].

В целях уменьшения или устранения шума в лаборатории применяются следующие меры: машины, производящие сильный шум, находятся в отдельной комнате, изолированной от помещений, в которых находится рабочий персонал, при длительном использовании шумопроизводящего оборудования, рабочим выдаются средства индивидуальной защиты, в виде наушников или затычек.

5.2.1.2. Вредные вещества

Для выявления структуры полученных образцов, применяется метод травления азотной кислотой. Она является едким веществом и относится к веществам 3-го класса опасности. Азотная кислота вызывает сильные ожоги при контакте с кожей, а её пары поражают слизистые оболочки дыхательных путей, вызывают конъюнктивит. Предельно допустимая концентрация вредного вещества третьего класса опасности в воздухе рабочей зоны составляет от 1,1 до 10 мг/м³ [35].

Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски или респираторы. Все работы проводятся в вентилируемом вытяжном помещении.

Первая помощь - при попадании азотной кислоты в глаза их следует промыть проточной водой в течение 10 – 30 мин.; при попадании на кожу, пораженную поверхность нужно промыть водой, добавив в ее состав питьевую соду, мыло. При проглатывании азотной кислоты показано промывание желудка обильным количеством воды, инъекции морфина, атропина.

5.2.1.3. Микроклимат

Микроклимат – это сочетание температуры, влажности и скорости движения воздуха в рабочих помещениях. Микроклимат влияет на процессы теплообмена и характер работ. Длительное воздействие неблагоприятных условий на человека ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Рассмотрим воздействие факторов подробнее:

1) воздействие высокой температуры быстро утомляет, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профессиональным заболеваниям;

2) низкая температура – местное или общее охлаждение организма, причина простудных заболеваний или обморожения;

3) высокая относительная влажность при высокой температуре способствует перегреву организма; при низкой температуре усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению;

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

ЭВМ является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В санитарных нормах СН-245-71 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия [36].

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасового рабочего дня. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут привести к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Воздух, поступающий в рабочие помещения операторов ЭВМ, должен быть очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов.

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19 °С [37].

В помещении имеется только естественная вентиляция (форточки окон, двери). Отопление зимой осуществляется через систему общего отопления (городская). В крайнем случае, устанавливаются электрические обогреватели в зимнее время и вентилятор в летнее [38].

Таблица 17 – Нормы подачи свежего воздуха в помещения с ЭВМ

Характеристика помещения	Объемный расход воздуха в помещении, м ³ /на одного человека в час
Объем до 20м ³ на человека	Не менее 30
20-40м ³ на человека	Не менее 20
Более 40м ³ на человека	Естественная вентиляция

5.2.1.4. Освещение на рабочем месте

Создание комфортных световых условий труда улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благоприятно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на рабочих, повышая безопасность труда и снижая травматизм.

Недостаточное освещение приводит к перенапряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление,

раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать рабочего.

В соответствии со СНиП II-4-79 в вычислительных центрах применяется система комбинированного освещения. Для работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3 - 0,5 мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5 %, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5 - 1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0 %. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в светильники, которые в свою очередь должны располагаться над рабочими зонами равномерно [39].

В помещениях, где установлены ЭВМ действуют следующие требования:

- при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300 лк, а комбинированная – 750 лк;
- при выполнении работ средней точности - 200 и 300 лк соответственно.

При этом крайне важно, чтобы все поле зрения было освещено равномерно. Это значит, что степень освещения помещения и яркость экрана ЭВМ должны быть примерно одинаковыми, так как яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости.

Для работы с ЭВМ рекомендуются помещения с односторонним боковым естественным освещением с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией светопроемов. Площадь световых проемов должна составлять 25 % от площади пола. Удовлетворительное естественное освещение проще создать в небольших помещениях на 5-6 рабочих мест, а больших помещений с числом сотрудников более 20, лучше избегать. В

случае, если экран ЭВМ обращен к окну, должны быть предусмотрены специальные экранизирующие устройства.

5.2.1.5. Расчет общего равномерного освещения

Для проведения расчета освещенности рабочего места необходимо выбрать систему освещения, определить необходимое число светильников, их тип и размещение. Рассчитаем параметры искусственного освещения. Существует два исполнения искусственного освещения: с использованием ламп накаливания или люминесцентных ламп. У люминесцентных ламп существует ряд существенных преимуществ:

- Близкий к дневному свету спектральный состав;
- Коэффициент полезного действия (КПД) выше в 1,5 – 2 раза, чем у ламп накаливания;
- Повышенная светоотдача (в сравнении с лампами накаливания);
- Длительный срок службы.

В соответствии с указаниями [39] произведем расчет освещения. Помещение имеет площадь 48 м^2 , ширина составляет 6м, длина – 8м, высота – 2,5 м. Воспользуемся методом светового потока. В помещении лаборатории используются люминесцентные лампы ШОД, использование которых допускается при умеренной влажности и запыленности [40].

Величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп снижается освещенность. Значение коэффициента запаса, выбираемого для помещения с малым выделением пыли, при люминесцентных лампах $K_3 = 1,5$.

Расположение светильников должно соответствовать двум критериям:

1. Обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослепленности и достаточной направленности света на рабочие места;
2. Наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Расположим светильники параллельно стенам. Расстояние между светильниками рассчитаем по формуле:

$$\lambda = L/h \quad (3)$$

где L - расстояние между светильниками, м;

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Находим $\lambda = 1,2$ (при $h = 2,5$ м)

Отсюда следует, что $L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2,5 = 3$ (м).

Расстояние от стен помещения до крайних светильников $1/3L$.

Изобразим в соответствие с исходными данными план помещения, укажем на нем расположение светильников и определим их число.

Воспользуемся методом коэффициента использования светового потока. С его помощью можно рассчитать, как световой поток ламп, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности с учетом света, отраженного стенами и потолком, так и освещенность при известном потоке.

Для определения количества светильников определим световой поток, падающий на поверхность по формуле:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot n} \quad (4)$$

где, F - рассчитываемый световой поток, лм;

E - нормированная минимальная освещенность, лк (определяется по таблице)

[8]. Работу специалиста, в соответствии с этой таблицей, можно отнести к разряду точных работ, следовательно, минимальная освещенность будет

$$E = 400 \text{ лк};$$

S - площадь освещаемого помещения (в нашем случае $S = 48 \text{ м}^2$);

Z - отношение средней освещенности к минимальной (обычно принимается равным 1,1-1,2, пусть $Z = 1,1$);

K - коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (его

значение зависит от типа помещения и характера проводимых в нем работ и в нашем случае $K = 1,5$);

η - коэффициент использования, (выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы; зависит от характеристик светильника, размеров помещения, окраски стен и потолка, характеризуемых коэффициентами отражения от стен (P_C) и потолка (P_{II})). Их оценивают субъективно и определяют по таблице. Так, для свежепобеленного потолка и со свежепобеленными окнами без штор $P_C = 50\%$ и $P_{II} = 70\%$ соответственно. Значение η определим по таблице коэффициентов использования различных светильников. Для этого вычислим индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h(A+B)} \quad (5)$$

Где, S - площадь помещения, $S = 48 \text{ м}^2$;

h - расчетная высота подвеса, $h = 2,5 \text{ м}$;

A - ширина помещения, $A = 6 \text{ м}$;

B - длина помещения, $B = 8 \text{ м}$.

Подставив значения получим:

$$I = \frac{48}{2,5 * (6 + 8)} = 1,37$$

Зная индекс помещения I , по таблице [42] находим $\eta = 0,6$

При выборе осветительных приборов используем светильники типа ОД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами.

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника типа ОДР. Длина одного светильника 1 м., ширина 0,5 м. При этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изобразим схему расположения светильников на рисунке ниже.

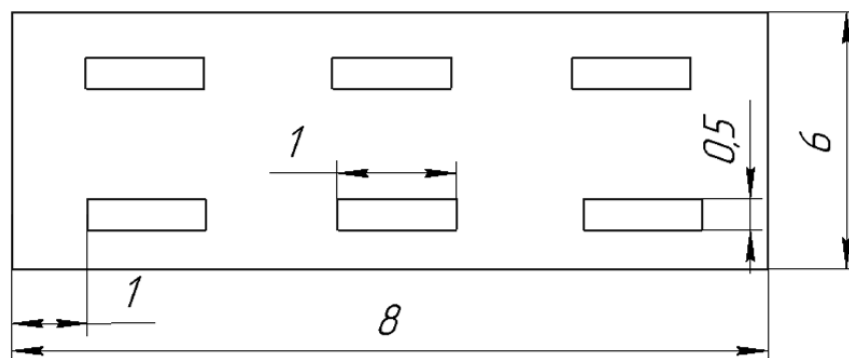


Рисунок 20 – Схема расположения светильников

Подставим все значения в формулу для определения светового потока F :

$$F = \frac{400 * 1,5 * 48 * 1,1}{0,6 * 12} = 4400(\text{лм})$$

В соответствии со световым потоком выбираем стандартную лампу – ЛБ -80-4 с потоком 4960 лм.

5.2.2. Анализ опасных факторов производственной среды

5.2.2.1. Электрический ток

Опасность поражения электрическим током зависит от таких факторов, как сырость, жара, едкие пары и газы, а также токопроводящая пыль. При наличии вышеперечисленных факторов возникает возможность перехода напряжения на нетоковедущие части электрооборудования (корпуса, станины, кожухи), с которыми рабочий находится в контакте. В таких условиях также понижается электрическое сопротивление тела человека, дополнительно увеличивая опасность поражения током. Предельно допустимые значения величин напряжения и тока приведены в ГОСТ 12.1.038-82.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под

напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. [41]

Одной из особенностей поражения электрическим током является отсутствие внешних признаков грозящей опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить с помощью органов чувств.

Ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы, а также таких жизненно важных органов как сердце и легкие. Поэтому, второй особенностью воздействия тока на человека является тяжесть поражения.

Третья особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что токи промышленной частоты силой в 10-15мА способны вызвать резко интенсивные судороги мышц.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токопроводящими элементами.

По условиям электробезопасности установки, используемой при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000 В. Устройства, относятся к 1 классу, так как имеют рабочую изоляцию и место заземления.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

1. Применение изоляции;
2. Недоступность токоведущих частей;
3. Применение малых напряжений;
4. Изоляция электрических частей от земли.

Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.

Категория персонала – I (неэлектротехнический персонал), то есть это люди, прошедшие только первичный инструктаж.

Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены.

5.2.2.2. Пожаробезопасность

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [42].

Для большинства помещений вычислительного центра установлена категория пожарной опасности В. Характерной особенностью помещений является их малый размер. Горючими компонентами в комнатах являются двери, перегородки, отделка, перфокарты и перфоленты, эстетическая отделка помещений, изоляция кабелей.

Источниками воспламенения могут быть электросхемы ЭВМ, устройства электропитания, в которых в результате неполадки образуются перегретые элементы, возникают электрические искры и дуги, способные вызвать возгорание горючих материалов. Для отвода тепла от ЭВМ используются системы охлаждения и кондиционирования воздуха.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения средств пожаротушения. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности, СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком. Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Одна из наиболее важных задач пожарной защиты - защита строительных помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования ВЦ, а также категорию его пожарной опасности, здания для ВЦ и части здания другого назначения, в которых предусмотрено размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени огнестойкости. Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами.

5.2.3. Региональная безопасность

Любое предприятие, осуществляющее деятельность, неизбежно наносит тот или иной вред окружающей среде. В настоящей работе основными факторами воздействия на среду являются:

- токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов, газов, применяемых в производстве;
- взрывоопасность и пожароопасность некоторых материалов и газов;
- слив кислот, щелочей, солей, отходов вредных веществ в общую систему канализации;
- пыль на рабочем месте.

Наибольшее внимание в природохране уделяется охране атмосферы, в которую включено:

- уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;
- сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;
- сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;

- утилизация отходов вредных производств.

Полностью исключить факторы загрязнения невозможно, однако есть методы, позволяющие их существенно снизить. Оснащение производственных площадок современными пылеуловителями, использование современных фильтрационных установок, новых видов фильтров и мембран.

В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а также средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых применяют канализационную систему. Система канализации присоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце рабочего дня они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д).

5.2.4. Организационные мероприятия обеспечения безопасности

При принятии на работу с каждым сотрудником проводится первичный инструктаж по технике безопасности, что фиксируется в журнале.

Сотруднику разъясняются основные опасные факторы среды, правила оказания первой помощи, расположения средств пожаротушения, планов эвакуации и аптек первой помощи.

На стенах лаборатории вывешены инструкции по технике безопасности, план эвакуации при пожаре.

5.2.5. Особенности законодательного регулирования проектных решений

В соответствии с законодательством Российской Федерации нормальная продолжительность рабочего дня не может превышать 40 часов в неделю. Сокращенная продолжительность рабочего дня устанавливается для лиц в возрасте 16-18 лет и составляет не более 36 часов в неделю, а для учеников от 14 до 15 лет, а также работников в возрасте 15 и 16 лет – 24 часа в неделю. При наличии вредных условий труда рабочий день лимитирован 26 часами в неделю. Накануне официальных праздничных дней продолжительность рабочего дня сокращается на один час. При работе в ночное время (с 22 до 6 утра) продолжительность рабочего дня также сокращается на час.

Указом Министерства здравоохранения от 29 декабря 1993 года №256 создан перечень тяжелых работ и опасных условий труда, согласно которому запрещается привлекать женщин к работам, которые связаны с постоянным (больше 2-х раз) на протяжении одного часа перемещением грузов массой свыше 7 кг. Если женщина занята подъемом или перемещением грузов до двух раз в течение часа, то ей может поручаться такая работа при весе груза до 10 кг. Причем в обоих случаях суммарная масса груза, который перемещается на протяжении каждого часа рабочей смены, не должна превышать 350 кг - с поверхности рабочего места и 175 кг с пола. Действующее законодательство особое внимание уделяет защите жизни и здоровья несовершеннолетних, то есть лиц, не достигших возраста 18 лет. Допускается с согласия одного из родителей принятие на работу учеников общеобразовательных школ для выполнения работы, которая не наносит ущерб их здоровью, в свободное от учебы время при достижении ими 14 - летнего возраста (на время школьных каникул). Как правило, несовершеннолетние принимаются на работу после достижения 16 лет. Их запрещается привлекать к работам, предусмотренным Перечнем тяжелых работ и работ с вредными и опасными условиями труда.

5.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При выполнении работ возможны следующие чрезвычайные ситуации: поражение электрическим током, короткое замыкание и пожар. Для предотвращения чрезвычайных ситуаций (ЧС) необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте, указанные ниже.

При возникновении пожара крайне важно соблюдать правила поведения при данном ЧС, так как данное явление может развиваться непредсказуемо и стремительно. Действия при пожаре прописаны в инструкции, которую обязан знать каждый сотрудник.

Действия персонала при пожаре на предприятии:

- услышав крики: "Пожар", ни в коем случае не поддаваться панике, сохранять спокойствие;
- осмотреться вокруг. Заметив телефон или кнопку пожарной безопасности, действовать незамедлительно – сообщить пожарным службам о возгорании;
- попробовать самостоятельно потушить возгорание, используя огнетушитель, песок;
- если ликвидировать пожар не получается, по необходимости покинуть помещение через эвакуационный выход;
- не поддаваться панике, стараться успокоить других;
- двигаться к выходу, дышать через рукав одежды или носовой платок;
- если в помещении сильная задымленность, перемещаться, опираясь на стены или поручни;
- оказавшись на свежем воздухе, немедленно вызвать "Скорую помощь".

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

- составление планов эвакуации;

- назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;
- ознакомление сотрудников лаборатории с планом эвакуации (рисунок 21), который должен висеть на видном месте.



Рисунок 21 – План эвакуации

Основные результаты и выводы по исследовательской работе

1. С использованием СВ-синтеза в порошковых смесях титана и кремния получены композиционные порошки «силицид титана – титан», структуру которых (морфология и дисперсность силицидной фазы и объемная доля металлической связки) можно целенаправленно регулировать в широких пределах.
2. В результате послойного горения в среде аргона прессовок из элементарных смесей «титан + кремний», можно получить хрупкий металломатричный композит «силицид титана + титановая матрица», который хорошо подвергается дроблению для получения порошкового материала с дисперсностью не выше 40-50 мкм.
3. Порошки из синтезированных композитов « Ti_5Si_3 + Ti» хорошо сплавляются, но при спекании происходит укрупнение силицидных частиц.
4. Синтезированные порошки композитов « Ti_5Si_3 + Ti» зависят от температуры спекания: если, нагрев не превышает 1200 °С, то происходит интенсивное уплотнение прессовки из синтезированных порошков; если температура выше 1300 °С, то динамика уплотнения снижается.
5. Наплавленные покрытия не обладают ярко выраженной композиционной структурой, и с увеличением титановой связки пространство между силицидными частицами в среднем остается неизменным, однако изменяется размер самих частиц: по мере увеличения титановой связки, уменьшается средний размер силицидных частиц. Наплавки, полученные с помощью синтезированных порошков, обладают большей твердостью и износостойкостью, чем титан ВТ1-0 (на него наносились покрытия), микротвердость которого составляет 190 Нv, а скорость износа 452 мг/ч.

Список используемой литературы

1. Криницын М.Г. Структура и свойства покрытий «карбид титана – титан», полученных электронно-лучевой порошковой наплавкой // Журнал: Технологии и материалы, г. Юрга 2015 г. [С. 24-29].
2. Мырхазан А.М., Макан А.Д. Износостойкость электронно-лучевых покрытий TiB+Ti // Высокие технологии в современной науке и технике (ВСНТ-2016): сборник научных трудов V Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 5-7 декабря 2016 г. [С. 431-432].
3. Васильев В.В., Лучанинов А.А., Решетняк Е.Н., Стрельницкий В.Е., Толмачева Г.Н., Прибытков Г.А., Гурских А.В., Криницын М.Г. Применение порошковых катодов для осаждения Ti-Si-N покрытий из фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы // ФП ФИП PSE, 2015, т. 13, № 2, vol. 13, No. 2. [С. 148-163]
4. Криницын М.Г., Данковцев Г.О. Композиционные СВС-порошки «силицид титана – титан» // Высокие технологии в современной науке и технике (ВСНТ-2016): сборник научных трудов V Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 5-7 декабря 2016 г. [С. 121-122].
5. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник. М.: Машиностроение, 1996 г. 996 с.
6. Пат. 99/18258 (WO). Электродный материал для осаждения суперабразивных покрытий и способ их получения / Е.А. Левашов, А.Г. Николаев, А.С. Рогачев и др. 1997.
7. Pat. 6336950 B1 (USA). Electrode rod for spark deposition, process for covering with superabrasive-containing layer / M. Kaizumi, M. Ohyanagi, S. Hosomi et al. 2002.
8. Самсонов Г.В., Виноцкий И.М. Тугоплавкие соединения: Справочник. М.: Металлургия, 1976.

9. Войтович Р. Ф., Пугач Э. А. Окисление тугоплавких соединений: Справочник. М.: Металлургия, 1978.
10. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок / Под ред. Ч.Т. Симса, Н.С. Столоффа, У.К. Хагеля; Пер. с англ под ред. Р.Е. Шалина. М.: Металлургия, 1995.
11. Замулаев Е.И., Левашов Е.А., Кудряшов А.Е., Вакаев П.В., Свиридов Т.А. Получение жаростойких металлокерамических покрытий на основе силицида и нитрида титана методом термореакционного электроискрового упрочнения // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия: сб. науч. тр. / - Москва, 2005. – С. 63-70.
12. Бычкова О. А. Нанесение комбинированного покрытия из карбосилицида титана и силицида титана // Современные материалы, техника и технология: сб. науч. тр. / - Курск, 2013. – С. 109-111.
13. Самсонов Г. В., Дворина Л. А., Рудь Б. М. Силициды. - М.: Металлургия, 1979. – 272 с.
14. Самсонов Г. В. Анализ тугоплавких соединений / Под ред. Г.В. Самсонова – М.: Металлургиздат, 1962. - 253 с.
15. Каразян А.Г., Мамян М.П., Хачатрян Э.А. Коррозионностойкие композиционные материалы на основе термореактивных смол и металлоподобных силицидов, синтезированных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Известия Национальной Академии наук РА и Государственного инженерного университета Армении. Серия технических наук: сб. науч. тр. / - Армения, 2010. – С. 49-54.
16. Радишевский В.Л., Лепакова О.К., Афанасьев Н.И. Синтез, структура и свойства МАХ-фаз Ti_3SiC_2 и Nb_2AlC . Вестник Томского государственного университета. Химия. 2015. №1. С. 33-38.
17. Barsoum M.W., El-Raghy T. Synthesis and Characterization of a Remarkable Ceramic: Ti_3SiC_2 // J. Am. Ceram. Soc. – 1966. – V.79 – P. 1953–1956.

18. Goto T., Hirai T. Chemically Vapor Deposited Ti_3SiC_2 // Mater.Res.Bull. – 1987. – V.22. – P. 1195–1201.
19. Sun Z., Zhang Y., Zhou Y. Synthesis of Ti_3SiC_2 Powder by a Solid-Liquid Reaction Process // Scr. Mater. – 199. – V.41. – №1. – P. 61–66.
20. Sun Z., Zhou Y. Fluctuation Synthesis and Characterization of Ti_3SiC_2 Powders // J. Mater. Res. Innovated. – 1999. – V2. – P. 227–231.
21. Голдин Б.А., Истомин П.В., Рябков Ю.И. Восстановительный твёрдофазный синтез карбосилицида титана Ti_3SiC_2 // Неорганические материалы. – 1997 – Т. 33. – №6. – С. 691–693.
22. Zwicker Ulrich, Titan und Titanlegierungen – Springer-Verlag, 1974. – 717 p.
23. Криницын М.Г. Композиционные порошковые материалы, полученные сжиганием смесей Ti-C // Перспективы развития фундаментальных наук: сб. науч. тр. / - Томск, 2016. – С. 133-135.
24. Hamedy M.J., Torkamany M.J., Sabbaghzadeh J. Effect of pulsed laser parameters on in-situ TiC synthesis in laser surface treatment. Optics and lasers in engeneering, 2011. – vol. 49, pp 557-563.
25. ZHANG Ke-min, ZOU Jian-xin, LI Jun, YU Zhi-shui, WANG Hui-ping. Surface modification of TC4 alloy by laser cladding with TiC+Ti powders. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2010, vol. 20, pp 2192-2197.
26. Рогачев А.С., Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику, М.: Физматлит. 2012, 400 с.
27. Гуляев А.П., Гуляев А.А. Металловедение: Учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. М.:ИД Альянс, 2011. – 644с.
28. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы. Под ред. В. Шатта. Пер. с нем. М., «Металлургия», 1983. 520с.
29. Скороход В.В., Солонин С.М. Физико-металлургические основы спекания порошков. – М: Металлургия, 1984. – 159 с.
30. Ивенсен В.А. Феноменологический анализ кинетики уплотнения порошковых тел при спекании. Теория и технология спекания: Сб. статей / Под ред. Г.В.Самсонова. – Киев: Наукова думка, 1974. – С. 86 - 95.

31. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий Сварочное производство, 2000, № 2 с. 34–38.
32. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Полев И.В., Белюк С.И. . Электронно-лучевая наплавка порошковых карбидосталей//Физика и химия обработки материалов, 1998, № 6, с. 53-59.
33. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватули-на, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
34. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
35. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
36. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000 - 364с.
37. СанПиН: 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным вычислительным машинам и организации работы".
38. ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия.
39. СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.
40. СП 52.13330.2011 “Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
41. ГОСТ 12.1. 045 – 84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
42. ГОСТ 12.1.018-93. Пожаровзрывобезопасность статического электричества.

Список публикаций

1. Криницын М.Г., Данковцев Г.О. «Исследование спеченных композитов «карбид титана – титан» синтезированных различными способами» // Высокие технологии в современной науке и технике: сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов / под ред. А.Н. Яковлева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017, с. 71.
2. Криницын М.Г., Данковцев Г.О. Синтез композиционных порошков «карбид титана – титан» // VII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. 7-10 ноября 2017 г./ Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН, 2017, с. 433-435.
3. Криницын М.Г., Данковцев Г.О. Монолитные образцы «силицид титана – титан», полученные электронно-лучевым сплавлением порошка // современные технологии и материалы новых поколений сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017, с. 281-282.
4. Криницын М.Г., Данковцев Г.О. Получение композиционных порошков «силицид титана – титан» для применения в аддитивных технологиях // современные технологии и материалы новых поколений сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017, с. 283-284.

Приложение А

Раздел на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Данковцев Г.О.		

Консультант школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коростелева Е.Н.	канд.техн.наук		

Консультант школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Демьяненко Н.В.			

Introduction

People used the technology of obtaining metal powders in ancient times. During the Bronze Age, people learned to receive and use gold and copper powders to obtain products, and to apply hot forging of powder mass. This experience was used about 5 thousand years ago for the manufacture of tools and weapons. In the 20th century, the growing demand for products such as refractory filament, copper-graphite current collector brushes, etc., have revived interest in powder metallurgy, which makes it possible to obtain materials and products that cannot be produced using traditional casting-based metallurgy technologies. Products of modern powder metallurgy include materials with specific properties and with a wide range of applications (dispersed-hardened, friction, antifriction, wear-resistant, highly porous, etc.). Most of the above materials have a complex phase composition and structure and belong to the class of composite materials.

Composite materials have been widely used in various industries due to the ability to control physical and chemical properties at all stages of product manufacturing. Metal-matrix composites consisting of solid compounds (TiC, TiB, WC) bonded with a relatively soft and viscous metal bond (Fe, Co, Ni) have high hardness and wear resistance parameters necessary for working under conditions of intense abrasive loads that can be observed at high speed metalworking, in the operation of machine parts of agrarian, mining and oil and gas industries.

To date, composite powder materials are increasingly used in industry, coming in to replace expensive alloys, because at a much lower price, materials based on composite powders have a unique combination of hardness, strength, plasticity and wear resistance in abrasive wear and in contact pairs.

One of the applications of powder materials, topical to date - additive technology. The basis of the currently available powders for additive technologies are powders of pure metals in addition, simple alloys, and powders that allow to "print" composite products are catastrophically small.

The purpose of this work was to obtain and investigate the composite powders of the "Ti₅Si₃ + Ti" system with different contents of the titanium bond, as

well as coatings obtained by electron beam surfacing on their basis. The volumetric materials of this system are characterized by higher mechanical and thermal properties than pure titanium, are resistant to oxidation at high temperatures, which are used as protective coatings for heating elements and heat sinks.

The following tasks were set in the work:

- Development of the technology for producing $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ composite powders by the SHS method (self-propagating high-temperature synthesis);
- Study of the characteristics of synthesized $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ powders (morphology and average size of silicide inclusions, microstructure and phase composition, inside partial porosity, etc.);
- Sinter analysis of synthesized $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ powders with maximum titanium bond content (degree of compaction, change of microstructure and residual porosity after sintering);
- Production of coatings from $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ powders obtained by electron-beam surfacing and investigation of their properties (structure, wear, microhardness, etc.).

1. Literary Review

1.1. The "titanium-silicon" system

The topic associated with compositional powders of the "titanium-silicon" system has not been widely investigated in our time. There are five compounds in the system: Ti_3Si , Ti_5Si_3 , Ti_3Si_4 , TiSi and TiSi_2 . The Ti_5Si_3 compound, which we are interested in, has the highest melting point among the other compounds, equal to 2130°C . It also lies in a noticeable region of homogeneity, 4% (at) at a temperature of 1300°C in the concentration range from 35.5 to 39.5% (at.) Si (Fig. 1).

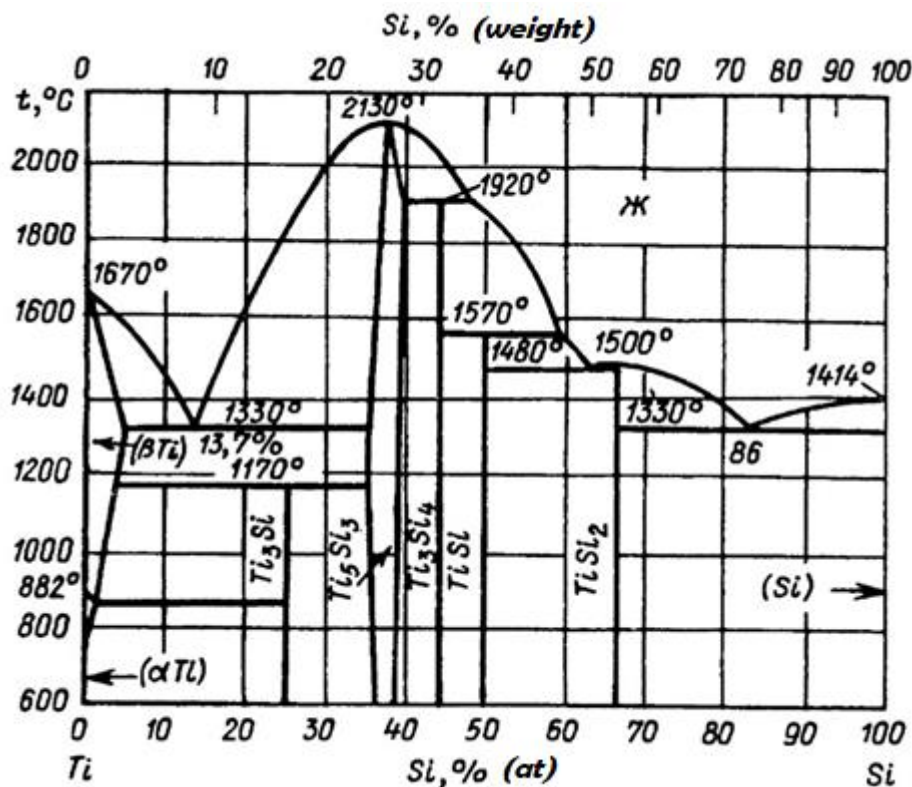


Figure 1 - Diagram of the state of the "titanium-silicon" system

In the early 2000s, the development and introduction of the latest methods of hardening tools and machine parts, coatings that provide comprehensive protection of their surfaces from the impact of working media, do not lose their relevance now. These types of technologies relates thermoreactive electrospark hardening (TREU) which combines the processes of electrospark alloying (ESA) and high chemical synthesis in the interelectrode space.

Promising material for high temperature coatings is based cermet titanium silicide combining special properties of the ceramic (high levels of hardness, wear and corrosion resistance) with the advantages of metals (good thermal conductivity, viscosity, adhesiveness activity).

One of the options for obtaining silicic cermet's is the use of exothermic interaction of titanium with silicon. Depending on the proportion of the mixture components may be formed of different silicide phases, of which the greatest interest is Ti_5Si_3 titanium silicide having a high melting point and low density, as well as increased rates of oxidation resistance, thermal and electrical conductivities, thermodynamic stability. Studies on heat resistance at $T = 750^\circ\text{C}$ showed that in 80 hours the experimental values of the specific rate of oxidation of the samples with coatings of charge Ti–Si compositions 1.5 times smaller than that of an unprotected titanium alloy.

Currently, to improve the performance of the surface, the same materials based on silicide's of titanium are actively used. To apply such coatings, methods such as arc surfacing, electrospark alloying and other methods are used. This leads to an increase in the corrosion resistance of the surfaces of various parts.

As a result, a new layer is formed on the surface of the part, which is given different properties from the initial state, depending on the parameters of the spark discharge, the composition of the electrode material, the material of the workpiece and other factors.

Such coatings can be used on cutting tools and other rubbing surfaces, paired with a layer of titanium carbide, which informs the hardness of the surface, and the layer of titanium silicide has a very high corrosion resistance. Therefore, such a combination of layers, probably, can allow the rubbing surfaces to work under rather severe conditions of elevated temperatures.

Silicides of transition refractory metals are typical representatives of the class of inorganic compounds called metal-like compounds. A wide variety of properties and an exceptionally wide field of application in engineering characterize these compounds. Chemically, they are highly resistant to oxidation by air oxygen,

as well as to the effects of various acids and their mixtures. Analysis of the results of investigating the chemical resistance of titanium silicide, zirconium, chromium silicide's iron triad in various acids and mixtures thereof, in the solutions of complexing agents and other aggressive media showed that almost all inorganic acids (HCl, H₂SO₄, HNO₃), as well as with royal vodka these silicide's interact weakly.

In [15] have studied the influence of some chemical resistance SHS metal-silicide (TiSi₂, Ti₅Si₃), in a number of acidic corrosive solutions and revealing the possibility of using these substances as fillers in the development of acid corrosion-resistant material based on synthetic thermosetting resins.

When using high-temperature synthesis, it is possible to obtain by-products, the so-called Max-phases.

Recently, more precisely in the last couple of years, this direction begins to develop widely and is becoming popular in our time. Max-phases are triple compounds that correspond to the general formula $M_n + 1AX_n$, where M is the transition metal; A is the element IIIA or IVA of the group of the periodic system of elements, X is carbon or nitrogen (or both). A distinctive feature of these materials is the structure of hexagonal crystal lattices, in which the layers of atoms of elements M and A alternate in a certain sequence, and the carbon (or nitrogen) atoms are located in the octahedral pores between the atoms of the element M. The peculiarities of the structure of their crystal lattices cause a unique combination in such material properties of metal and ceramics. Various methods are used to obtain materials based on MAX phases.

V. Eshchenko and H. Novotny first synthesized the MAX phase of Ti₃SiC₂ in 1967 at the University of Vienna. In 1972, a group of scientists from Germany obtained films of this phase using a CVD method from the gas phase containing titanium, silicon and carbon chlorides, and for the first time it was shown that the MAX phase of Ti₃SiC₂ is anomalously plastic for ordinary carbides.

The process of synthesis of the MAX phases of Ti₃SiC₂ was well developed at the Drexel University (USA) by M. Barsow and T. El-Rahi and collaborators by

the method of hot isostatic pressing from a mixture of fine powders of titanium, carbon and silicon carbide with a 3: 1: 1 and 5: 2: 1, as well as at the Institute of Advanced Technology (Nagoya, Japan) ZM. Sanom, Z.F. Yang and H. Hashimoto method of SHS in the temperature range 1200-1700 ° C at an argon pressure of 50-300 MPa.

One way to produce materials based on MAX phases is sintering, which requires a lot of energy and time. An alternative to sintering is self-propagating high-temperature synthesis (SHS). In addition, it is possible to obtain MAX phases in composite coatings using, for example, electron beam or laser surfacing.

Such wear-resistant coatings on titanium alloys are of great practical interest, since titanium and its alloys have low wear resistance due to their tendency to set in contact pairs with practically all metallic materials. In order to obtain "thick" wear-resistant coatings on titanium and its alloys, powder surfacing is widely used, the composition of the powder additive being selected to obtain a composite coating having a matrix composite structure with dispersed inclusions of refractory compounds (carbides, borides, silicides) in a titanium matrix. The most studied as a hard and refractory hardening phase in metal matrix composites based on titanium: titanium carbide. To obtain such deposited composite coatings "TiC-Ti", mechanical mixtures of titanium powders, titanium carbide and graphite in various combinations are usually used. It is characteristic that in practically all described cases of laser or electron beam surfacing, titanium carbide particles fall out of the titanium-carbon melt solution during the crystallization stage upon cooling. Therefore, it is very difficult to control the morphology, dispersion and volume fraction of carbide inclusions in the structure of the metal matrix composite. According to the results of tests of coatings for abrasive wear, a clear correlation between the structure of the deposited coatings and their wear resistance is revealed. With an increase in the content of the titanium bond in the initial SHS composites, the wear resistance of the coatings increases and the hardness decreases. The most optimal composition, which has high values and hardness, and wear resistance, are composite powders with 50 vol. percentage of the ligament.

At the same time, analogous electron-beam metal-matrix coatings containing silicide's have not been studied in practice, which makes the task of studying SHS powders based on " $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ " compositions very relevant.

Thus, the direction will develop, because it is still at the initial stage of its development. In recent years, this topic has been developing at a rapid pace and may be used in industry.

1.2. SHS (self-propagating high-temperature synthesis)

Composite powders of the " $\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{Ti}$ " system were obtained using the SHS method - an exothermic chemical combustion process that occurs in the autowave regime in powder mixtures and leads to the formation of useful condensed products, materials or products. The target product of SHS is solid chemical compounds (carbides, borides, nitrides, silicides, etc.) and materials based on them.

SBS is based on the scientific phenomenon of the wave localization of self-locking solid-phase reactions, discovered in 1967 by Russian scientists A.G. Merzhanov, I.P. Borovinskaya and V.M. Shkiro.

Samples for carrying out SHS-synthesis are preliminary prepared by a pressing method. The process itself is initiated by heating a local volume, for example, a molybdenum helix at the upper end of the billet, after which an exotemic reaction of layer-by-layer combustion of the sample begins (Fig. 2). The energy released during this process is used to heat up the additives that are inert in the thermal sense.

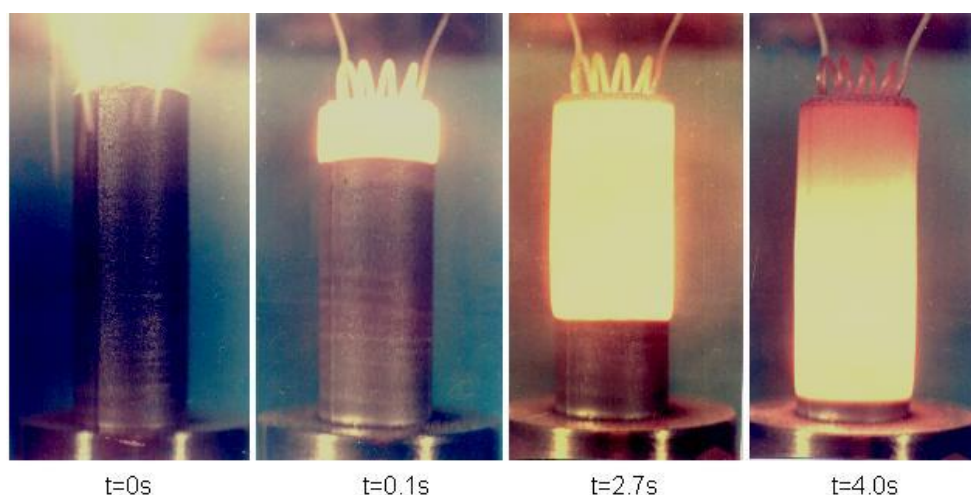


Figure 2 - Sample and local initiation of SHS

The SHS is influenced by many factors controlled before the start of the reaction. Such factors are:

- The thermal effect of the reaction;
- Composition and structure of the exothermic mixture of powders;
- Size, density and initial temperature of charge samples;
- Composition and pressure of the surrounding gas, etc.

The main advantages of SHS technology over other technologies are as follows: the process is energy-saving, because it proceeds due to the heat released as a result of chemical exothermic reaction and does not require additional heating after initiation; characterized by high productivity, determined by the burning rate (of the order of 10 ... 30 mm / s); high purity of synthesis products due to high combustion temperatures (2000 ... 3000 ° C and above) and decomposition and evaporation of impurities; the possibility of obtaining multicomponent compounds in one stage in a combustion wave: the use of technologically simple and small-sized equipment.

The main way to initiate the SHS reaction is to locally initiate the reaction on the surface of the system by supplying a short-term heat pulse (electric spiral, electric spark discharge, laser beam, etc.) with the formation of a combustion wave and its propagation through an unheated source material (layered burning regime). For slightly exothermic reactions or for mixtures with a high content of inert fillers,

preheating of the charge in the furnace is necessary to initiate the synthesis reaction (Figure 3). Charge in SHS processes can be in a vacuum, in the open air, in an inert or reacting gas under pressure.

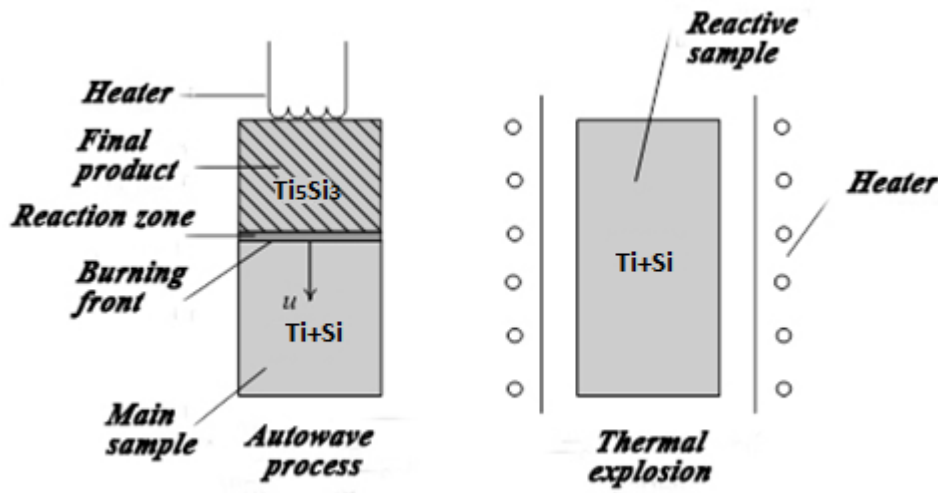


Figure 3 - Methods for initiating the SHS reaction (for example, TiC)

In the simplest steady-state combustion regime, all the points of the front move with a constant in time and with the same velocity. When the stationary regime loses stability, unstable modes of propagation of the front arise: plane self-oscillations of the combustion front velocity (pulsating combustion); localization of the burning reaction in the foci, motion of the combustion front along the helical trajectory (spin waves); random motion of multiple combustion sites. The combustion wave does not propagate in the charge in the case of strong heat losses to the environment (small diameters of the charge samples, low adiabatic reaction temperatures of the reagents).

In a wave of combustion, various chemical, physical and physicochemical processes take place, providing in their totality the necessary heat release. The wave has a certain length and consists of a number of zones:

- Warm-up zone (combustion reactions do not yet flow, but only heat transfer and heating of the charge);
- The reaction zone (the main combustion reactions that provide the necessary heat release flow);

- Burn-out zone (chemical reactions continue, but they no longer affect the propagation velocity of the front);
- Zone of secondary physico-chemical transformations determining the composition and structure of final products.

The SHS reaction is characterized by: the propagation velocity of the front (reaching several centimeters per second), the maximum temperature and the heating rate of the substance in the stationary combustion wave, the extinction limit (no burning under any initiation conditions), the limit of loss of stability of combustion, the depth of chemical conversion of the initial reagents to the final products. Synthesis is also possible in the regime of thermal explosion, when the reaction mixture is heated by self-ignition. In the synthesis reaction in the thermal explosion regime, there is no combustion wave with a clearly pronounced moving front.

1.3. Sintering

Sintering of powder materials is a thermal treatment of loose bulk powder or compacted preforms at a temperature of 0.7 to 0.9 of the absolute melting point of the metal of the powder or the melting point of the base metal in a multicomponent powder system. During sintering, the size, structure, and properties of the initial materials change, surface processes, and various dislocation phenomena occur; matter is transported through the gas phase, chemical reactions, relaxation of micro- and macrostresses, recrystallization of particles, etc.

When heating multicomponent powder materials, the melting of any elements (but not the main one) is permissible, in this case the appearance of a liquid phase will give a significant effect on the regularity of sintering. For this reason, two main types of sintering process have been established: solid phase, i.e. absence of melt formation during heating, and liquid phase, in which any fusible components of a mixture of powders or structural constituents of the material melt during heating.

Solid-phase sintering. Solid-phase is the sintering of a powder body without the formation of a liquid phase. In solid-phase sintering, the following basic

processes occur: surface and volume diffusion of atoms, shrinkage, recrystallization, transfer of atoms through the gas medium.

Liquid-phase "sintering. Liquid phase is called if it is carried out at a temperature that provides the appearance of a liquid phase. The process of sintering with the participation of the liquid phase finds a huge technical application, in particular, in the manufacture of products containing metal carbides. They have great hardness and in connection with this are widely used in the manufacture of cutting tools. The liquid phase, crystallizing, plays the role of a binder cementing the product as a whole. The technology of sintering with the participation of the liquid phase is widely used in the production of various composite materials.

The technology of sintering powdered metals is divided into two types: sintering under pressure, free sintering.

Sintering under pressure. Sintering under pressure occurs: a) when products with the same density and mechanical properties are produced, but with a considerably short sintering time or low temperature; b) while maintaining the same sintering regimes in the time and temperature range, but substantially increasing the density and mechanical properties of the articles compared to sintering without pressure; c) when using much coarser powders than when sintering without pressure.

Free sintering. Free sintering (powder sintering without the application of external forces) is a thermally activated process of shrinkage of the free surface of a porous powder body, accompanied by the consolidation of discrete elements of the disperse system into a single whole. Reduction of the free surface of the sintering powder body occurs by reducing the pore volume, decreasing the number of pores with increasing their dimensions, eliminating the interfaces at antiparticle contacts and growing contact bridges.

The most reliable method for obtaining high-quality composite powders is vacuum sintering of pressed powder mixtures. The technological parameters of the powder sintering process make it possible to control the structure of the composite material, including the dispersion of the silicide phase and the phase composition of the metal bond.



Figure 4 - Vacuum furnace SNVE-1.3.1 / 160

1.4. Electron beam surfacing

Electron beam surfacing (ELN) is the process of obtaining a coating of a given shape and properties on the surface of a coating with an electron beam. This technology allows one and multi-layer coatings of various functional purposes (hardening, wear-resistant, heat-resistant, heat-resistant, etc.) to form on the surface of products made of steel, cast iron, copper, bronze and other alloys. With ELN, there is no adhesion problem. High repeatability of the results of electron-beam surfacing technology in conjunction with the flexibility of process control allows the formation of coatings with the required structure and desired properties. ELN is implemented in specialized installations. The technological process is fully automated.

The technology of electron beam surfacing is based on the unique ability of an electron beam to concentrate energy. For example, an electron beam with a power of several kilowatts can be focused into a spot smaller than a millimeter in diameter. If it is directed to the surface of the part, the metal will instantly begin to melt in the region of the beam drop. At the same time, the part itself will remain cold, and if the beam is removed, the metal instantly crystallizes. The principle of electron beam surfacing is shown in Figure 5. The electron beam creates a bath of molten metal on the surface of the part. A powder is applied to it with the aid of a dispenser, the

particles of which create a coating on the surface with the necessary properties. The welded part moves inside the vacuum chamber relative to the stationary electron gun and the powder dispenser, or the electron gun with the dispenser moves relative to the fixed part.

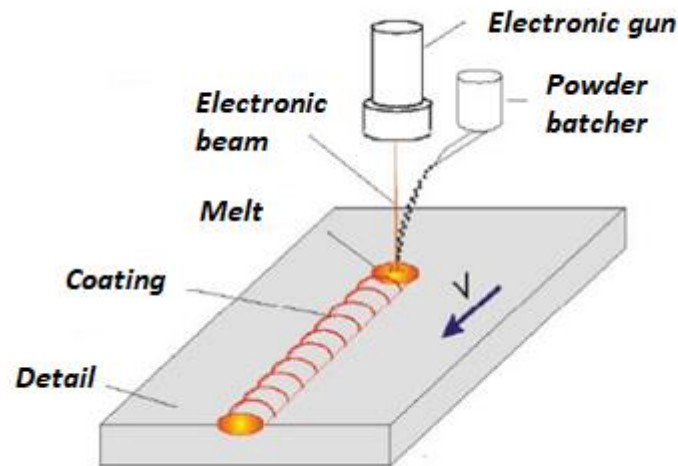


Figure 5 - Principle of operation of electron beam surfacing

The technology of multi-pass electron-beam surfacing is based on the phenomenon of "freezing" a powder into a liquid metal bath of a melt. With each successive pass, a new portion of the powder "freezes" and the previous portion melts. The powder fed into the molten metal bath of the melt accelerates the process of its crystallization, thereby promoting the formation of a fine-grained structure and reducing residual stresses in the deposited coating. The required thickness of the build-up layer is achieved by changing the powder feed rate or increasing the number of passes. A high rate of crystallization contributes to the formation of a homogeneous fine-dispersed structure of the deposited layer.

Powders having a dispersion of 50-350 μm are suitable for electron beam surfacing. Powders with a dispersion of less than 50 μm have insufficient flowability in a vacuum, and therefore it is difficult to supply them directly to the melt bath. To melt powders larger than 350 microns, more energy deposition is required, which leads to an additional penetration of the base and an increase in the residual stresses.

Depending on the shape of the products and the coating requirements, various coating schemes can be used (Fig. 6).

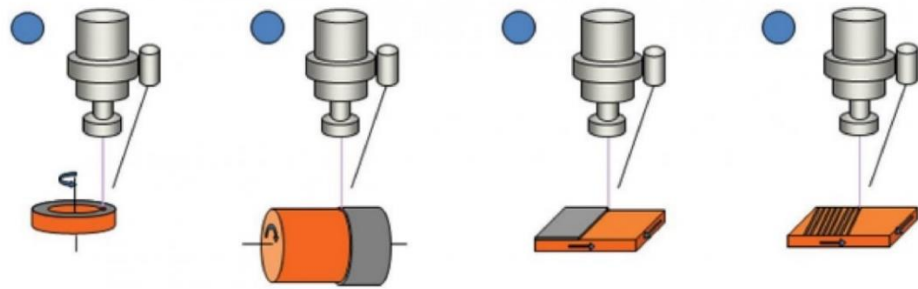


Figure 6 - Diagrams of the electron-beam surfacing process

Parameters characterizing the surfacing process are the energy and current of the electron beam, its diameter, the size and shape of the beam sweep on the surface of the part, the speed of the moving part, and the speed of the powder.

A distinctive feature of ELN is the extended (up to 1 mm) transition zone "base-coating" (Figure 7). Since the powder is melted into the surface of the part, the properties of the material from the base to the coating vary smoothly. The concept of adhesion with this method of coatings disappears.

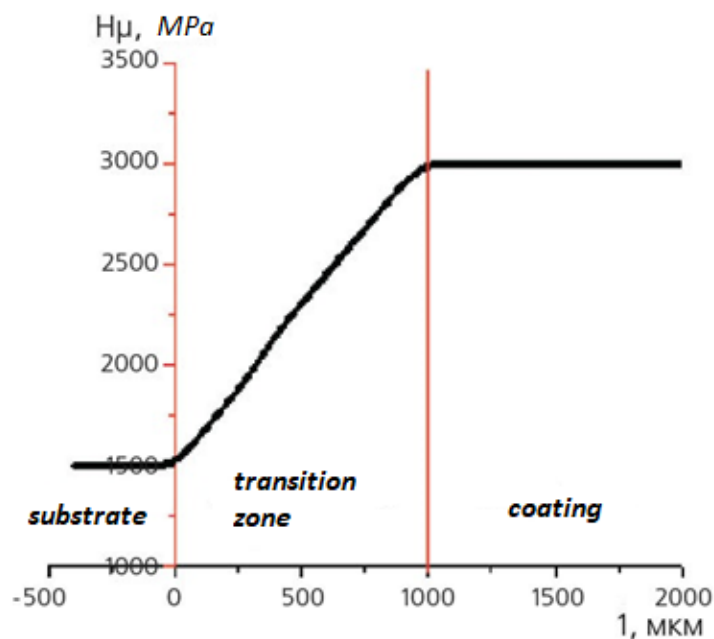


Figure 7 - Micro hardness distribution